This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

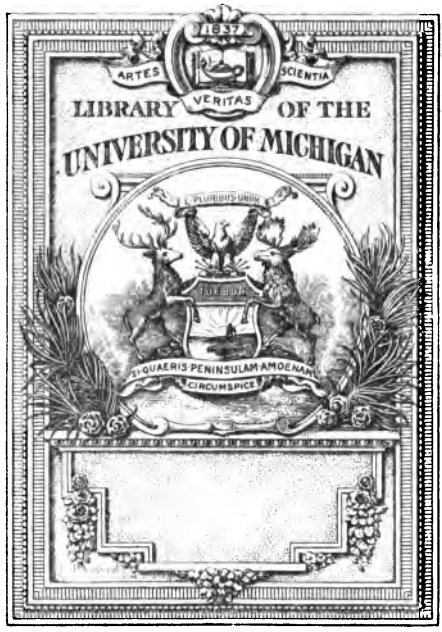
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

QE
521
.M68

ÉTUDE

DES

PHÉNOMÈNES VOLCANIQUES

ÉTUDE

DES

PHÉNOMÈNES VOLCANIQUES

Tremblements de Terre — Éruptions volcaniques

Le Cataclysme de la Martinique 1902

PAR

François MIRON

LICENCIÉ ÈS-SCIENCES

INGÉNIEUR CIVIL

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

Successeur de BAUDRY & Cie

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

MÊME MAISON A LIÈGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21

1903

Tous droits réservés

PRÉFACE

—

La récente éruption de la Martinique a rappelé l'attention sur le *Volcanisme* et, bien qu'elle ne soit qu'un accident géologique sans importance et qui passera inaperçu dans l'histoire du globe, elle occupe un des premiers rangs sur la liste des hécatombes humaines.

Le moment semble donc opportun de résumer nos connaissances sur la question mais, toutefois, sans faire le procès de certaines théories au profit d'autres. Nous pensons, en effet, que dans l'état actuel de la science, on ne peut proposer que des hypothèses.

Le *Volcanisme*, d'autre part, est aussi vieux que le monde ou à peu près : les coulées d'orthophyres et les tufs orthophyriques antérieurs au carbonifère, sont les produits d'éruptions volcaniques analogues à celles du Vésuve de nos jours. Il ne procède peut-être pas de causes exclusivement terrestres et il se pourrait, suivant la tendance actuelle, que des influences cosmiques encore peu connues jouent un rôle dans la production des cataclysmes éruptifs.

Enfin les causes des paroxysmes étant peut-être nombreuses et d'ordres différents, il se pourrait que les diverses théories imaginées et exposées dans cet ouvrage soient toutes exactes, et que les causes des éruptions empruntent, suivant les circonstances, tantôt aux unes et tantôt aux autres.

Le *Volcanisme*, tel que nous l'envisageons dans cet ouvrage, ne comprend pas seulement les éruptions et les tremblements de terre. Intimement lié, d'après nous, aux diverses phases de la formation de l'écorce terrestre et à ses modifications anciennes ou récentes, brusques ou instantanées, son étude doit embrasser la formation des reliefs du sol et des champs de fracture généralement métallifères, l'étude des massifs abondamment pourvus de sources thermo-minérales et dans certains cas de gisements de pétrole.

En outre, l'étude des déjections volcaniques et des modifications subies par leurs *enclaves* permet d'entrevoir la genèse des roches et des minéraux, et, c'est autant de pierres apportées à l'étude de la formation du Globe, l'un des problèmes les plus beaux et les plus hardis auquel l'Homme s'est attaqué.

J'exprime ici mes remercîments à M. Vélain professeur à la Faculté des Sciences et à M. Lacroix professeur au Muséum d'Histoire Naturelle qui, cette fois encore, ont bien voulu mettre leur laboratoire à ma disposition.

Janvier 1903.

FRANÇOIS MIRON.

INTRODUCTION

—

L'existence à l'intérieur du globe d'un noyau igné, à l'état probablement liquide (voir n° **194**) est admise presque par tous aujourd'hui, l'opinion est également à peu près unanime sur la venue des profondeurs des *laves* volcaniques, le mot lave désignant ici toutes les roches d'origine éruptive quels que soient leur composition et leur âge.

Par contre, les opinions diffèrent sur les causes des paroxysmes volcaniques.

L'allure des volcans est, en effet, irrégulière, bizarre ; ainsi, parmi les 300 volcans catalogués, tant éteints qu'en activité, certains sont en repos depuis la fin du tertiaire (Islande), d'autres ont des périodes de repos qui varient de quelques mois à plusieurs siècles (Vésuve), d'autres enfin sont en activité depuis les temps les plus reculés. A quelle cause donc attribuer ces reprises d'activité ? C'est à leur connaissance que tendent les diverses théories qui sont exposées plus loin ; mais nous estimons que leur adaptation aux faits de la réalité et leur discus-

sion ne peuvent être logiquement entreprises que pour autant que l'on connait les phénomènes divers accompagnant les éruptions volcaniques.

Nous débuterons donc par l'étude de ces dernières en nous bornant à constater les faits dûment prouvés. Mais, à l'inverse d'une division généralement adoptée, nous commencerons par les Tremblements de Terre parceque ceux-ci accompagnent toujours les éruptions et que si, dans certains cas, ils se produisent seuls, cela tient peut-être à ce que les modifications qu'ils ont pu apporter à l'intérieur du sol ont annulé une cause qui, prolongée, aurait pu produire, consécutivement, une éruption volcanique.

LES PHÉNOMÈNES VOLCANIQUES

PREMIÈRE PARTIE

—

TREMBLEMENTS DE TERRE

CHAPITRE PREMIER

—

SÉISMES — SISMOGRAPHES
PROPAGATION DE L'ÉBRANLEMENT
TRACÉ DES ISOSÉISTES
DÉTERMINATION
DE L'ÉPICENTRE ET DE LA PROFONDEUR
DU FOYER D'ÉBRANLEMENT

---

1. — Des frémissements agitent le sol d'une façon à peu près constante et ce n'est que par exception que nos sens en perçoivent l'existence, quand l'amplitude du mouvement atteint une certaine valeur.

Les mouvements imperceptibles sont appelés *microséismes* par opposition à ceux que nous ressentons directement et que l'on désigne sous le nom de *séismes*.

L'étude des microséismes se fait à l'aide d'appareils très délicats, les *tromomètres*, et celle des séismes utilise des

sismographes et des *sismomètres*, les premiers révélant l'existence de l'ébranlement et la direction qu'il a suivie, les seconds donnant la mesure de l'intensité de la secousse.

Les indications sismographiques sont généralement fournies par le déplacement d'un pendule ou de la colonne de mercure d'un baromètre recourbé.

2. Sismographe à pendule. — Un pendule très flexible est terminé par un style qui frotte contre une surface sphérique et concentrique à l'arc de cercle décrit par la pointe du style.

Cette surface courbe est recouverte d'une couche parfaitement unie de sable très fin ou de papier enduit de noir de fumée.

En temps normal, le pendule est immobile et la trace du style est un point. Une secousse vient-elle à se produire, le pendule est déplacé dans le sens contraire du mouvement et le style décrit une ligne continue sinueuse, enchevêtrée, photographie du mouvement de la masse pendulaire, et dont l'aspect indique les directions des forces principales qui ont agi et montrent, par suite, la direction du mouvement sismique.

3. Sismographe à mercure. — Ces appareils reposent sur ce principe que si l'on abaisse ou élève brusquement un baromètre recourbé, à mercure, la colonne liquide prend un mouvement de sens contraire au déplacement.

Généralement, l'appareil comprend une série de tubes répartis circulairement, de façon qu'il s'en trouve toujours un dans la direction du mouvement, d'où qu'il vienne. Des index permettent de suivre les oscillations des colonnes de mercure.

4. Sismomètre. — Destiné à donner une *idée* de l'amplitude de la secousse, le sismomètre comprend les mêmes

éléments que le sismographe précédent, mais le mercure arrase l'extrémité de la petite branche.

L'amplitude de la secousse a pour mesure la quantité de mercure projeté, au passage du séisme, hors de la petite branche du tube dont la direction coïncide avec celle du mouvement sismique.

5. Microséismes. — Après avoir écarté les causes externes de microséisme telles que le grand vent, les marées, les coups de tonnerre, les chocs contre le sol provoqués par l'homme, on constate qu'une liaison intime existe entre les microséismes d'une part, les tremblements de terre et les variations de la colonne barométrique d'autre part.

D'après M. de Rossi, les indications du tromomètre peuvent permettre de déterminer la zône dangereuse si le microséisme se transforme en séisme ; et la conclusion que ce savant a tirée d'expériences microphoniques qu'il serait trop long de résumer ici, est que les microséismes sont dus à des mouvements de masses gazeuses dans les profondeurs du sol.

6. Séismes artificiels. — Toute cause de mouvement des couches de l'écorce terrestre étant susceptible de provoquer un séisme, il y aura lieu de distinguer ceux dont l'origine réside dans les couches superficielles du sol.

Les séismes de cette catégorie sont peu intenses et n'affectent qu'une zône peu étendue ; ils sont dus généralement à la disparation par dissolution de masses salines, de sel gemme par exemple, et l'on sait qu'il existe des couches de cette matière dont la puissance dépasse plusieurs centaines de mètres et dont la longueur atteint plusieurs kilomètres.

Les régions salifères sont le siège de fréquents séismes,

mais en raison de l'origine du phénomène nous n'insisterons pas davantage.

7. Séismes. — Les séismes perceptibles à nos sens et désignés sous le nom général de *tremblements de terre* sont des secousses produites par des mouvements du sol qui peuvent être *horizontaux*, *verticaux* ou *ondulatoires* ou résulter de la combinaison de ces mouvements entre eux.

Suivant que le mouvement est vertical ou horizontal, l'observateur reçoit un choc venant d'en bas ou de côté, et quand la forme est ondulatoire, il croit marcher sur le pont d'un bateau par une mer agitée et perd la notion de l'équilibre.

L'intensité des secousses varie depuis le frémissement à peine sensible jusqu'au choc qui renverse les édifices les mieux construits.

Nous citerons comme effet de secousses verticales : la projection de personnes, par dessus une rivière, sur une colline haute de 80 mètres, à Rio-Bamba en 1797 ; en 1885, à Forio-Ischia, le transport d'une jeune fille, du sol de la rue sur un rocher de 25 mètres de hauteur, à la distance de 100 mètres.

Les mouvements ondulatoires produisent les effets les plus bizarres : On voit les murs des maisons se lézarder, puis se refermer, les arbres s'incliner au point que leurs cîmes touchent le sol, puis se redresser ; divers observateurs l'ont constaté tant en Calabre en 1883 qu'au Brésil en 1811.

Les parties élevées des édifices peuvent osciller sans que leur base semble bouger ; c'est ainsi qu'au cours d'un des séismes qui touchèrent Madrid, les spectateurs aux parties élevées d'un théâtre sentirent l'oscillation alors qu'au parterre personne ne se doutait qu'un tremblement de terre venait de se produire.

8. Nombre et durée des secousses. — Ces éléments sont essentiellement variables, et leur grandeur n'est pas toujours en rapport avec l'importance des dégats.

Le tremblement de terre de Casamicciola en 1883 ne comprit qu'une secousse de 16 secondes de durée ; il fut cependant désastreux.

Les cataclysmes de la Ligurie, en 1885 correspondirent à trois séries de secousses produites à quelques heures d'intervalle.

Le phénomène peut se renouveler pendant des temps quelquefois très longs, sans périodicité cependant.

Ainsi, le tremblement de terre qui dévasta l'Andalousie, en 1884, comprit huit séries de secousses réparties sur une durée de quatre mois.

En 1868, aux îles Sandwich, le phénomène dura plusieurs mois et l'on compta jusqu'à 2.000 secousses dans un seul mois.

9. Propagation des secousses. — Le mouvement se propage tout autour du centre d'ébranlement, à moins que, à proximité, se trouve une chaîne de montagnes puissante, — formée d'assises anciennes et compactes — et dont la direction soit à peu près perpendiculaire à celle de la translation du mouvement.

Le premier cas, de beaucoup le plus général, est analogue à l'ébranlement d'une eau tranquille par la chute d'un corps, et au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre d'ébranlement ou *épicentre*, l'intensité du phénomène va en décroissant.

Plusieurs épicentres peuvent exister simultanément et un point du sol pourra, à un moment donné, être affecté simultanément par les ondes émanées des divers épicentres. On a constaté, dans ces conditions, que les secousses, en certains points, atteignaient une violence extrême qu'il faut peut-être, selon nous, attribuer à l'inter-

Vitesses de propagation dans diverses matières (1)

Matières	Vitesse en mètres par seconde	
(*M. Fouqué*)		
Granite	2 450 à 3 141	
Grès houiller compact	2 000 2 526	
Grès permien peu agglutiné	1 190	
Marbre Cambrien	632	
Sables de Fontainebleau	300	
(*M. Noguès*)		
Trachyte porphyroïde dans la direction d'un filon	1 500	
» » perpendiculairement à la direction d'un filon	1 450 à 1 500	
Granite dans la direction d'un filon de Galène	1 480 1 500	
» perpendiculairement à la direction d'un filon de de Galène	1 400 1 450	
Calcaire triasique compact dans la direction des couches	1 400	
Calcaire triasique compact perpendiculairement à la direction des couches	1 200	
Schiste ancien dans la direction d'un filon	800	
» parallèlement à la direction d'un filon	700 à 750	
(*MM. Milne et Gray*)	Vitesse des vibrations longitudinales	Vitesse des vibrations transversales
Granite	3 951,88	2 191,42
Marbre	3 812,50	2 081,32
Tuf	2 851,75	2 091,38
Roche argileuse	3 482,18	2 541,56
Schiste ardoisier	4 512,78	2 861,81

(1) Fouqué. — *Les Tremblements de terre.*

férence des mouvements ondulatoires issus des divers épicentres.

La vitesse de propagation des ondes sismiques, c'est ainsi que l'on désigne la surface d'onde passant par les points ébranlés à un même moment, est différente suivant que le foyer réel d'ébranlement est situé à une profondeur plus ou moins grande ; elle se maintiendra constante longtemps si ce foyer est à faible profondeur, et dans le cas contraire, elle diminuera rapidement pour ne prendre que beaucoup plus tard une valeur à peu près uniforme. Elle varie avec la nature des terrains traversés et par suite ne présente pas la même valeur dans toutes les directions autour de l'épicentre (voir page 6).

Cette vitesse s'évalue par la comparaison des heures auxquelles la secousse aura été ressentie en deux points placés dans la direction du mouvement et dont on connaît la distance entre eux.

La variation rapide de la vitesse, quand le foyer est profond, ressort bien du tableau ci-dessous dressé par M. Offret et relatif au tremblement de terre de l'Andalousie, en 1884, dont le foyer était à 18 kilomètres de profondeur.

Distance à l'épicentre en kilomètres	Vitesse en mètres par seconde
75 à 250	500 à 800
250 300	700 1 000
300 400	800 1 200
500 1 000	1 100 1 700
1 500	2 100

Indépendamment de la différence de composition du sol autour de l'épicentre qui, comme nous l'avons vu plus haut exerce une grande influence sur la variation de la vitesse, des causes très complexes, viennent ajouter leurs effets. A

titre d'exemple, nous reproduisons les valeurs de la vitesse du tremblement de terre, en Suisse, du 22 juillet 1881.

Direction	Vitesse en mètres par seconde
Modane à Chalon	747
Allevard à Moncalieri	695
Le Locle à Chalon	379
Genève à Allevard	300

Lors donc que l'on parle de la vitesse de translation d'un tremblement de terre, il convient donc d'indiquer toujours la direction dans laquelle la mesure fut faite ; mais, souvent, on se borne à indiquer une vitesse moyenne entre la plus grande et la plus faible.

C'est dans ces conditions qu'est conçu le relevé ci-dessous des vitesses moyennes de propagation des principaux tremblements de terre.

Désignation	Vitesse en mètres par seconde
Lisbonne, en 1755	540
Allemagne du Nord, en 1843. *direction O.*	590
Allemagne du Nord, en 1843. » *E.*	885
Prusse Rhénane, en 1846	434
Guadeloupe, en 1843	185
Viège (Suisse), en 1855. *direction N.*	872
Viège (Suisse), en 1855. » *S.*	426
Calabre, en 1857	226
Pérou, en 1868	131,50
Vallée du Rhin, en 1880	550
Charleston, en 1886	5 173 à 5 205
Ligurie, en 1887	584 1 452

Le second mode de translation, dit *longitudinal*, caractérise les tremblements de terre dont les secousses au lieu de

se propager en tous sens, autour de l'épicentre, marchent dans deux directions diamétralement opposées : on a remarqué que les tremblements de terre à translation longitudinale ne se manifestaient que dans les contrées limitées par la mer ou par une chaîne puissante de montagnes, comme c'est le cas pour le Chili, la Bolivie, où les régions affectées sont enclavées entre la Cordillière des Andes et l'Océan Pacifique.

Un troisième mode de translation, peu fréquent, est celui dit *transversal*, Les zones affectées sont d'égale largeur de part et d'autre de l'axe de direction générale de translation du mouvement, et il semble que la surface d'onde soit une droite perpendiculaire, en son milieu, à cet axe de direction.

On aurait reconnu ce troisième mode, en particulier, dans les manifestations du tremblement de terre de la Guadeloupe en 1843.

10. Particularités dans la propagation des séismes. — L'une des plus importantes à signaler est le rôle d'écran joué par les chaînes de montagnes : les tremblements de terre du Chili se propagent rarement de l'autre côté de la Cordillière des Andes, de même que les séismes d'Espagne sont souvent arrêtés par les Pyrénées.

Ce rôle protecteur des chaînes de montagnes puissantes serait dû aux failles qui jalonnent les massifs dans le sens de la longueur, l'expérience ayant démontré que les fissures et surtout les grottes forment un obstacle à la propagation de l'ébranlement : L'onde sismique arrêtée dans sa marche, glisserait dans le sens de la direction de la chaîne, parallèlement à la faille-écran.

Le séisme qui parvient à franchir une chaîne de montagnes, présente de part et d'autre de cette chaîne des intensités qui sont en raison inverse de l'étendue des régions prolongeant les versants. Très violents dans la bande étroite

intercalée entre la Cordillière des Andes et l'Océan Pacifique, les séismes parviennent très atténués sur le versant E des Cordillières.

L'épicentre est presque toujours dans la région baignée par le Pacifique et les ondes sismiques arrivent d'une part à la côte, où elles produisent des ébranlements violents parce que le rivage sert de séparation à deux couches de nature différente — nous verrons plus loin pourquoi — et d'autre part à la Cordillière. Là, l'onde se décompose en deux autres, l'une arrêtée par les failles et canalisée dans le sens de la chaîne des Andes et l'autre qui franchit l'obstacle et se dissipe dans l'immense plaine qui s'étend jusqu'à l'Océan Atlantique, plaine où l'intensité des secousses ira en diminuant au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'épicentre en raison de l'absorption par la masse du versant E du continent américain de l'énergie mise en jeu.

L'exaltation des oscillations du sol aux surfaces de contact de deux couches de nature différente est non moins intéressante et les effets produits y sont particulièrement désastreux.

Ainsi, un séisme qui passe inaperçu dans les galeries d'une mine — et il en est presque toujours ainsi — bouleverse la surface du sol. Un massif rocheux qui ne présente aucune cassure nouvelle en profondeur a sa surface en contact avec l'atmosphère, déchiquetée, broyée, et des débris auront été projetés au loin. Aussi, et l'expérience le confirme, les secousses seront plus violentes sur un sol formé d'une mince couche d'alluvion reposant sur un massif compact que sur les parties émergeantes de ce dernier; toutes les particules de l'alluvion prennent un mouvement de vibration dont l'amplitude est supérieure à celle des vibrations du massif rocheux.

Par contre, lorsque le sol est formé d'assises très puissantes d'alluvions ou de couches plus élastiques comme

c'est le cas pour le bassin parisien, celui de l'Allemagne septentrionale, les vibrations s'éleignent rapidement. Aussi, a-t-on rarement constaté des séismes à Paris et à Berlin.

A titre d'exemples, nous rappellerons que lors du tremblement de terre de la Calabre, les dégats furent faibles dans la région granitique, plus importants dans la plaine d'alluvion et acquirent leur maximum au contact de l'alluvion et du granite.

En 1887 c'est au contact des couches meubles et des assises cristallines de la Corniche que les dégats, en Ligurie, furent les plus importants.

11. Direction de l'onde sismique. — L'observateur dépourvu de sismographe éprouve la plus grande difficulté à déduire de ses impressions la direction dans laquelle s'est propagé le mouvement sismique. Mais il peut recourir à certaines observations locales si toutefois les circonstances s'y prêtent.

Le sommet des édifices oscille dans le sens de la propagation de l'onde.

Les murs parallèles à cette direction sont moins fréquemment renversés que ceux qui lui sont perpendiculaires et et la chute a lieu dans le sens contraire à la marche de l'ébranlement.

Les fissures du sol sont perpendiculaires à cette direction.

12. Tracé des isoséistes. — Si toutes les horloges étaient parfaitement réglées, il suffirait de connaître l'heure du passage de l'onde dans les différentes localités pour tracer les isoséistes correspondant à un instant déterminé. Mais tel n'est pas le cas, et à part certaines localités possédant une horloge donnant l'*heure nationale*, les autres fournissent des indications erronées et le tracé des isoséistes est rendu à peu près impossible.

On a recours au stratagème suivant, basé sur le principe

que des effets identiques sont produits au même moment. Il suffit donc de relever, après cessation du phénomène, l'emplacement des points où les dégats dénotent une égale intensité du séisme et de réunir entre eux tous les points de même catégorie.

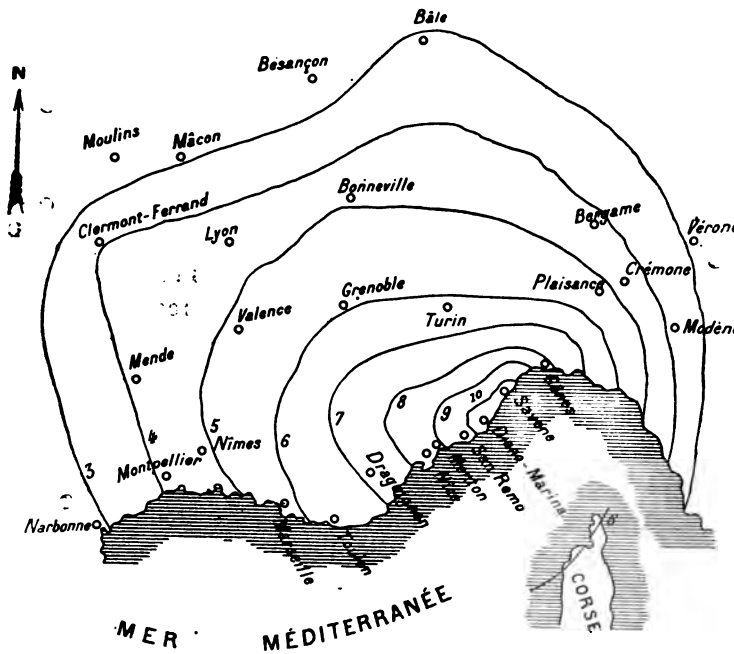


Fig. 1 — Isoséistes du tremblement de terre de Ligurie en 1887.

A cet effet, on utilise l'échelle de Rossi et Forel qui subdivise en 10 termes le phénomène du séisme :

1° Secousse signalée seulement par les sismographes ;

2° Secousse signalée par quelques personnes au repos ;

3° Secousse signalée par plusieurs personnes au repos ;

4° Secousse constatée par l'homme en activité, ébranlement d'objets, trépidation des vitres ;

5° Secousse généralement ressentie, tintement des sonnettes, ébranlement des meubles ;

6° Réveil général des personnes endormies, oscillation des lustres, arrêt des pendules, ondulation des arbres ;

7° Renversement des objets placés sur les meubles, tintement des cloches, chute de platras ;

8° Chute des cheminées, les murs se lézardent ;

9° Destruction partielle ou totale de quelques édifices ;

10° Cataclysmes, crevasses, éboulement de montagnes.

Le 6e degré correspond à l'effroi des populations, le 7e au grand effroi, le 8e à l'épouvante et le 9e à la panique.

La figure 1 donne le tracé des isoséistes du tremblement de terre de Ligurie en 1887 et les nos des courbes correspondent à ceux de l'échelle de Rossi et Forel.

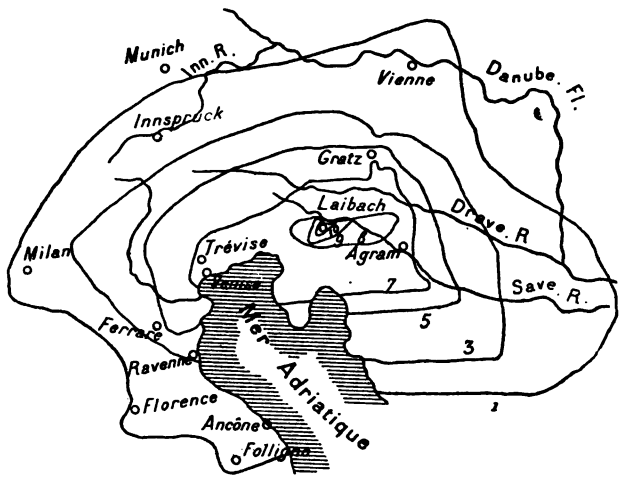


Fig. 2. — Isoséistes du tremblement de terre de Laibach en 1895.

On remarquera l'allongement horizontal des isoséistes 9 et 10 dans la direction des Apennins et le parallélisme des isoséistes 3 et 4 avec la chaîne des Cévennes.

La même constatation peut être faite sur la figure 2 ; les

isoséistes 1 et 3 suivent sur un certain parcours les vallées de la Drave et de la Save.

M. Suess a calculé assez exactement la superficie des zones comprises entre ces isoséistes et il a trouvé les chiffres suivants :

Entre les isoséistes	1 et 3	400 000	kilomètres carrés.
"	3 " 5	160 000	"
"	5 " 7	97 000	"
"	7 " 8	47 000	"
"	8 " 10	8 400	"
La région épicentrale ou *pléistosiste*.		570	"

La chaîne des Alpes ne paraît pas avoir opposé d'obstacle à la transmission de l'ébranlement, tandis que du côté E les montagnes ont arrêté et détourné les ondes sismiques.

13. Rôle des failles. — Les travaux de divers savants et entre autres de M. de Rossi, ont montré que les failles et même les fissures volcaniques influencent le mode de propagation et la direction des ondes sismiques (voir n° **10**).

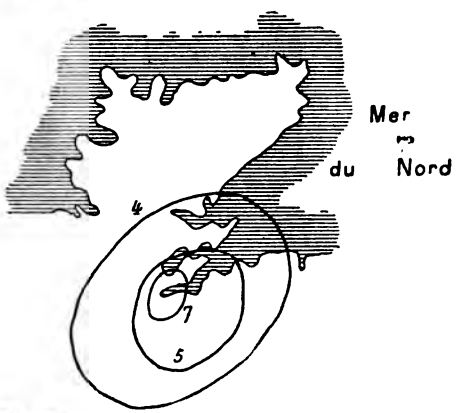


Fig. 3. — Isoséistes du tremblement de terre d'Inverness en 1880.

La région épicentrale s'allonge le long de la faille et les ondulations se propagent d'abord parallèlement puis perpendiculairement à cette dernière pour subir, dans la suite, des modifications de direction du fait des failles qu'elles rencontreront sur leur parcours.

La figure 3 représente les isoséistes du tremblement de

terre d'Inverness. La région épicentrale 7 a son grand axe parallèle à un système de failles NE-SO.

14. Détermination de l'épicentre. — Lorsque l'on connaît plusieurs systèmes de points affectés au même moment par le séisme, la détermination de l'épicentre ne présente pas de sérieuses difficultés.

On réunit par une courbe tous les points de chaque système, et au milieu de chaque courbe on mène la normale ; l'épicentre est déterminé par l'intersection de deux de ces normales.

La région épicentrale est représentée par le lieu des points d'intersection des normales entre elles.

Le foyer d'ébranlement peut être multiple car il se forme plusieurs épicentres et autant de régions épicentrales qui combinent leurs effets.

La périphérie des zones épicentrales est toujours sinueuse, et les oscillations du sol y sont verticales ; le mouvement ondulatoire ne commence qu'au-delà.

15. Profondeur du foyer d'ébranlement. — Diverses méthodes ont été proposées dont voici les principales. La dernière semble avoir donné les meilleurs résultats.

Méthode de Robert Mallet. — Il a proposé d'utiliser à cette détermination les crevasses du sol ce que l'on peut faire longtemps après le passage du séisme.

M. Mallet part de ce principe que dans chaque système de crevasses il en est au moins une dont les lèvres sont perpendiculaires à la direction de propagation de l'ébranlement : on relève donc, pour chaque système, l'orientation de la fissure et l'inclinaison du plan d'une lèvre ; le foyer réel est à l'intersection des perpendiculaires au plan de chaque fissure choisie.

M. Fouqué a critiqué vivement cette méthode et l'a

déclarée à peu près impraticable dans la majeure partie des cas.

16. Méthode de Seebach. — Soient : h la profondeur OB du foyer d'ébranlement (fig. 4), y la distance à ce centre d'un point A de la région ébranlée, et x la distance de A à l'épicentre B ; on a :

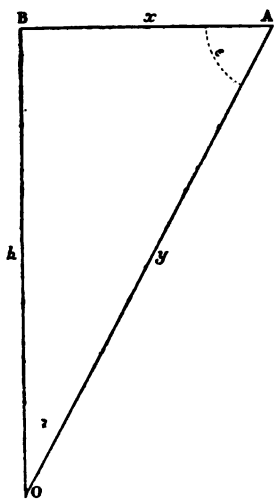


Fig. 4

$$h^2 = y^2 - x^2$$

équation d'une hyperbole équilatère dont le demi-axe est égal à h.

Soient : T le moment de la secousse initiale en O, t celui où elle arrive en A. Le chemin est donc parcouru dans le temps $t - \mathrm{T}$, et si v est la vitesse de propagation de l'ébranlement dans le sol on a :

$$y = v(t - \mathrm{T})$$

ou :

$$t = \mathrm{T} + \sqrt{\frac{x^2 + h^2}{2}}. \tag{1}$$

Si l'on possède les résultats d'observation en 3 points du sol dont on connaisse la distance à l'épicentre, l'équation (1) permettra de calculer h, v et T.

Cette méthode qui suppose un sol parfaitement homogène ne peut être appliquée qu'autant que l'on ne constate pas de réduction rapide de la vitesse des ondes sismiques. On pourra donc l'employer quand le foyer d'ébranlement est peu profond.

17. Méthode de Falb. — Elle repose sur l'hypothèse que le *bruit* et la *secousse* dans un séisme ont la même origine, qu'ils sont produits, au même moment, au foyer réel et ne nous arrivent avec un intervalle de temps qu'en raison de la différence de leurs vitesses respectives de propagation.

Soient v la vitesse de propagation du mouvement sismique dans le sol, et v_1 celle du bruit correspondant (fig. 4).

Soient T le temps écoulé depuis l'origine du mouvement jusqu'à l'arrivée de la secousse au point A de la surface et t le temps écoulé de même jusqu'à l'arrivée du son au même point.

En désignant par y la distance de A au foyer d'ébranlelement, dont la profondeur est h, on a :

$$y = v\mathrm{T} = v_1 t,$$

et en posant : $s = \mathrm{T} - t$:

$$y = \frac{v_1 h s}{v_1 - v};$$

et comme :

$$h = v \sin \varepsilon,$$

en désignant par ε l'angle d'émergence, il vient :

$$h = \frac{v v_1 s \sin \varepsilon}{v_1 - v};$$

si on désigne par x la distance de A à l'épicentre supposé réduit à un point, on a :

$$\cos \varepsilon = \frac{x(v_1 - v)}{s v v_1}.$$

En supposant le rapport $\frac{v}{v_1}$ constant et égal à K, les deux formules ci-dessus se ramènent à :

$$h = \frac{sv \sin \varepsilon}{1 - K}.$$

$$\cos \varepsilon = \frac{x(1 - K)}{sv}.$$

Les éléments x et s peuvent être mesurés expérimentalement, et si l'on suppose le sol homogène, v et v_1 peuvent être déterminés. On a dès lors tous les éléments pour résoudre les deux équations ci-dessus.

Mais k n'est pas constant et Fouqué donne $k = 0,58$ si le bruit est dû à des vibrations longitudinales et les secousses à des vibrations transversales.

Autre méthode de Falb. — Il faut connaître les intervalles de temps s, s', compris entre l'arrivée du bruit et celle de la secousse en 2 localités dont l'une est le point épicentral, on a :

$$\frac{s}{s_1} = \sin \varepsilon, \qquad h = x \operatorname{tg} \varepsilon.$$

18. Méthode de Dutton et de Hayden [1]. — De même que la loi de décroissance des vitesses de propagation du mouvement à la surface du sol à partir de l'épicentre varie avec la profondeur du centre d'ébranlement, de même la loi de la distribution des intensités se modifie avec cette même cause. Il peut donc être possible de tirer parti de ce fait pour déterminer la position dans le sol du foyer sismique (fig. 5).

Soient : h la profondeur du centre d'ébranlement, x la

[1] Fouqué. — *Tremblements de terre*, p. 111.

distance d'un point D de la surface à l'épicentre E, a l'intensité du mouvement à l'unité de distance à partir du

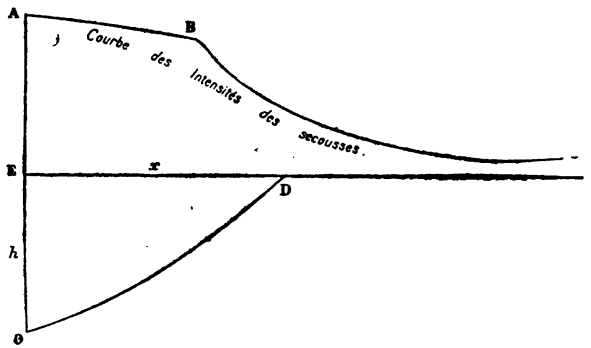


Fig. 5

foyer sismique, et y cette même intensité en D. L'intensité variant en raison inverse du carré de la distance, on a :

$$y = \frac{a}{h^2 + x^2}. \tag{1}$$

Les ordonnées de la courbe des intensités décroissent rapidement à une certaine distance de A pour, par la suite, ne plus varier que lentement.

Le point d'inflexion B de la courbe s'obtient en égalant à o la différentielle seconde de (1) et l'on obtient :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{8ax^2 - 2a(h^2 + x^2)}{(h^2 + x^2)^2} = 0,$$

$$8ax^2 = 2a(h^2 + x^2),$$

$$x = \frac{h}{\sqrt{3}}, \qquad h = x\sqrt{3}.$$

L'abscisse du point d'inflexion est donc indépendante de

l'intensité de l'ébranlement initial, et l'on obtiendra la valeur de h en multipliant par $\sqrt{3}$ la distance à l'épicentre d'un point où l'intensité décroît rapidement et brusquement. Dans le cas d'une zone épicentrale elliptique, on multiplie le petit axe de l'ellipse par $\sqrt{3}$.

La position de ce point est donnée soit par l'indication des sismographes soit par des observations locales.

La profondeur à laquelle se produisent les troubles producteurs des séismes est plus faible que l'on serait porté à le supposer : elle est généralement voisine de 30 kilomètres et ses limites extrêmes sont 400 mètres et 60 kilomètres ; encore ce dernier chiffre n'a-t-il été que rarement atteint.

Voici les profondeurs calculées à l'occasion de séismes récents :

			Profondeur	
Séisme de	l'Allemagne centrale en	1872 . . .	18	kilomètres.
»	Herzogenrath	1873 . . .	15	»
»	Calabre	1857 . . .	11	»
»	Charleston	1886 . . .	29	»
»	Andalousie	1884 . . .	18	»
»	Turkestan	1887 . . .	10	»
»	Locride	1894 . . .	6,5	»

19. Superficie de quelques régions épicentrales. — La forme et la superficie de la zone où le premier choc se fait sentir, sont très variables.

La forme fut linéaire en Californie en 1872 — circulaire en Angleterre en 1889 ; généralement elle est elliptique, le grand axe dirigé dans le sens de la ligne de dislocation principale de la région.

Des observations suffisamment précises ont permis de mesurer la superficie de quelques régions épicentrales :

Japon en 1889, 1 830 kilomètres carrés.
» en 1891, 11 000 » »

A Agram, en 1880, la zone affectait la forme d'une ellipse dont les axes mesuraient respectivement 40 et 30 kilomètres.

CHAPITRE II

—

EFFETS PRODUITS PAR LES TREMBLEMENTS DE TERRE RAZ DE MAREE. — ONDE DE TRANSLATION PHÉNOMÈNES MAGNÉTIQUES OSCILLATIONS BAROMÉTRIQUES ÉTENDUE DE LA ZONE AFFECTÉE RELATIONS DU SÉISME ET DE L'OROGÉNIE

---

20. — Le passage des ondes sismiques produit des effets variés que nous diviserons en trois catégories.

Dans la première, nous rangerons les signes qui font reconnaître le passage de l'onde sans que celui-ci laisse de traces derrière lui : le sol s'agite sous les pieds de l'observateur, les meubles remuent, les objets pendus aux murs s'agitent, le sommet des édifices oscille, la cime des arbres s'incline.

Les seconds offrent la plus grande variété : les pendules s'arrêtent, des statues tournent sur leur socle, les murs se lézardent et quelquefois les deux lèvres reviennent au contact, les murs s'écroulent, les édifices s'abattent, des crevasses rectilignes ou réparties en étoiles sillonnent le sol, des gouffres naissent, des exhaussements du sol se produisent, et quand les secousses sont suffisamment puissantes,

il arrive que des rochers se détachent des montagnes dont les couches superficielles peuvent glisser sur un sous-sol argileux et humide et descendre dans la vallée.

21. Raz de marée. — Sur les côtes, les oscillations du rivage se transmettent aux eaux de la mer et produisent un *raz de marée* dont les effets seront souvent plus désastreux que ceux directement produits par les secousses du sol.

La mer se retire au loin, quelquefois à 15 ou 20 kilomètres, reste stationnaire pendant un temps variant de quelques minutes à 24 heures, puis, revient à la côte en une vague furieuse, haute quelquefois de 30 mètres, qui s'élance dans l'intérieur des terres avec une force irrésistible, dévastant tout sur son passage.

Il est fréquent de la voir raser des villages à plusieurs kilomètres de la côte.

Au XVIIIe siècle, lors du tremblement de terre qui détruisit le port de Callao, des navires furent lancés à 4 kilomètres dans l'intérieur des terres.

21bis. Onde de translation. — Le retrait de la mer détermine la formation d'une vague dite *onde de translation;* cette onde se propage au loin avec une vitesse égale à celle de la marée sur le même parcours.

Ainsi, lors du tremblement de terre d'Arica, au Pérou, l'onde atteignit les côtes d'Australie en deux jours, marchant avec une vitesse comprise entre 146^m,50 et 216 mètres par seconde, et elle mit 16 heures 2′ pour atteindre les îles Samoa, alors que la marée met 16 heures pour effectuer le même parcours.

Pour arriver aux îles Sandwich, elle mit 12 heures 37′ et il faut 13 heures à la marée pour effectuer ce même trajet.

Les vitesses différentes suivant les points considérés —

146m,50 à 216 mètres — constatées entre Arica et l'Australie, proviennent de ce que l'ébranlement se propage d'autant plus vite que la mer est plus profonde. D'après Laplace, la vitesse est proportionnelle à la racine carrée de la profondeur de la nappe d'eau.

22. — Les deux tableaux ci-dessous montrent la marche des ondes de translation consécutives au tremblement de terre de Arica I et à l'effondrement de l'île de Krakatoa II.

I

Route suivie par l'onde	Distance en milles marins	Durée du trajet en heures	Vitesse de l'onde en milles marins par heure
Arica à Coquimbo. . . .	720	2 «	360
« Coral	1 421	7 «	203
« îles Samoa . . .	7 390	16,02′	319
« îles Chatham. . .	5 520	15,19′	360
« îles Opharo . . .	4 057	11,11′	362
« Honolulu	5 580	12,37′	442
« N. Galles du Sud.	7 380	12,30′	611

II

Route suivie par l'onde	Distance en milles marins	Vitesse en mètres par heure	Durée du trajet en heures
Krakatoa à Négapatam . .	1 944	119	8, 02′
« Port de Galles.	1 705	123	7, 29′
« Aden	3 800	141	13, 54′
« Ile de France .	2 950	162	9, 54′
« Port Elisabeth (Cap	4 730	146	13, 45′
« Banc Orange (Horn)	7 700	200	10
« Socoa	11 700	215	27, 55′
« Colon (Panama)	11 790	294	20, 50′

L'onde de translation se propage sous forme de vagues souvent de grandes dimensions et cause quelquefois des avaries aux navires qu'elle rencontre.

A Krakatoa elle était représentée par des vagues distantes l'une de l'autre de 600 mètres de crête en crête et d'une hauteur moyenne de 10 mètres : on a calculé [1] que la quantité de mouvement renfermée dans une portion de ces lames, de 200 mètres de longueur était, pour une durée de 18″ — égale à 1 350 chevaux par mètre carré.

L'onde fit plus que le tour du globe et ne s'éteignit qu'après plus de 20 heures.

23. — Dans la troisième catégorie, nous rangerons les effets d'ordre divers produits par les tremblements de terre.

C'est tout d'abord le bruit qui accompagne le phénomène, bruit tantôt semblable à un cliquetis de ferraille, tantôt au roulement du tonnerre, à des grincements explicables par le frottement des deux lèvres d'une faille.

Quelquefois les crevasses du sol laissent échapper des flammes des vapeurs, des jets de sable, de l'eau accompagnée de poissons.

24. — Les bouleversements du sol, à l'intérieur, donnent lieu à des manifestations diverses : c'est un lac qui s'assèche, une nappe d'eau qui est projetée dans les airs, plus ou moins mélangée à des débris des couches du sous-sol. Un gouffre ouvert par le tremblement de terre se remplit peu à peu d'eau ; le lac Baïkal a été ainsi formé.

Quelquefois, des jets de sable sortent du sol et injectent les fissures des couches, et de ce phénomène que l'on observa à différentes reprises, M. Diller [2] conclut que les *dykes* de sable que l'on rencontre dans les schistes crétacés

(1) Vélain. — *Volcans et tremblements de terre.*
(2) Diller. — *Bull. Geol. Soc. of. Am.* I, p. 441.

de la Californie, où les paillettes de mica sont alignées parallèlement à la surface des épontes, devaient résulter d'une injection du sol fendu sous l'effet d'une secousse de tremblement de terre.

25. Phénomènes magnétiques. — Les séismes exercent sur la valeur de la composante horizontale magnétique une action qui se fait sentir à très longue distance.

Ainsi, à l'observatoire de Zi-Ka-Wei en Chine, le 8 mai 1902 à $7^h,58$ du soir, soit 12 heures après la catastrophe de Saint-Pierre de la Martinique, le magnétomètre bifilaire indiqua tout à coup un accroissement brusque de la composante horizontale et resta agité pendant environ 8 heures.

L'onde magnétique atteignit l'Europe.

26. Oscillations barométriques. — Indépendamment des oscillations barométriques brusques qui se montrent souvent comme signes précurseurs d'un *séisme* ou

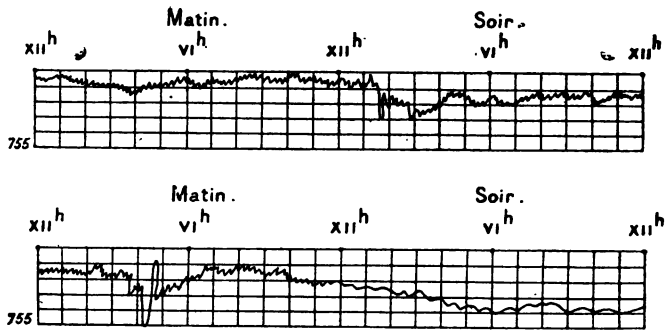


Fig. 6

d'une *explosion* volcanique proche, les *explosions* des cratères engendrent une onde atmosphérique qui se propage au loin.

La figure 6 représente les oscillations barométriques

observées à Paris les 27 et 28 août 1883 consécutivement à l'explosion finale du Krakatoa.

Souvent aussi, avant le cataclysme, la colonne barométrique éprouve des oscillations brusques et fréquentes, il se produit des ouragans, des orages, des brouillards, des variations brusques de la température.

27. Étendue de la zone affectée. — Avant de s'éteindre, l'onde sismique parcourt des distances variables suivant la nature du sol des contrées qu'elle traverse et suivant aussi d'autres causes que l'on n'a pas encore pénétrées : aussi constate-t-on des différences énormes entre les étendues affectées par le phénomène sismique.

Le tremblement de terre de Lisbonne impressionna une superficie de trois millions de kilomètres carrés; celui de l'Andalousie en 1884, seulement 400 000 kilomètres carrés.

28. Relation du séisme et de l'orogénie. — Les observations si nombreuses auxquelles ont donné lieu les séismes ont permis de constater que les tremblements de terre naissent toujours dans les régions disloquées, et que, dans leur succession, les épicentres avancent en suivant l'axe de la dislocation : si cette dernière est parallèle à une chaîne de montagnes le séisme est canalisé dans la chaîne, si elle lui est perpendiculaire l'autre versant sera affecté.

D'autre part, on a constaté que les séismes sont plus fréquents dans les régions de formation récente.

Il semble donc que le séisme fasse partie du cortège des phénomènes qui président à la formation des reliefs du sol.

Si cette hypothèse est fondée, on doit retrouver parmi les manifestations des séismes au moins une partie des accidents que nous constatons dans les périodes orogéniques.

Le plus fréquent des accidents communs à l'orogénie et

au séisme est la production de véritables failles avec rejet et dénivellation des lèvres. Or, en voici quelques exemples :

En 1885 un séisme produisit en Nouvelle Zélande une fissure de 145 kilomètres de longueur avec dénivellation des lèvres de 3 mètres en même temps que l'une des extrémités s'affaissait de 1^{m},50.

De nombreuses failles avec dénivellation de plusieurs mètres ont été produites par les séismes, en Californie.

Au Japon, en 1891, une faille de 112 kilomètres de longueur se produisit avec dénivellation des lèvres de 0^{m},60 à 6 mètres, suivant les points, et décrochage N. S. de plusieurs mètres, par le glissement d'une lèvre sur l'autre.

En 1892, en Afghanistan, le décrochage de 0^{m},80 consécutif à la formation d'une faille, avec dénivellation, tordit une voie ferrée.

En 1897, au Bengale, 60 kilomètres de voie ferrée furent tordus en divers sens.

Un autre point commun que nous avons déjà signalé est la dénivellation du sol par affaissement ou exhaussement.

A titre d'exemple d'affaissement séismique, nous citerons le lac Baïkal dont l'altitude est inférieure de 1 000 mètres au niveau de la mer et la plaine marécageuse qui touche Laibach, centre sismique important.

Un des exhaussements les plus importants se produisit au Callao, en 1746, dont le port très fréquenté devint par la suite inutilisable,

Les séismes importants, d'après Dana, font donc partie des phénomènes de formation des montagnes, ils sont dus à des ruptures d'équilibre dans les couches internes comprimées, ruptures suivies de formation de failles avec dénivellation, décrochage, glissement, tous phénomènes explicatifs des bruits et des secousses sismiques.

La faible profondeur relative des foyers d'ébranlement vient encore appuyer cette manière de voir.

DEUXIÈME PARTIE

—

LES ÉRUPTIONS VOLCANIQUES

CHAPITRE PREMIER

—

SIGNES PRÉCURSEURS — SÉISMES COLONNE DE FUMÉE — PROJECTION DE DÉBRIS SABLES — CENDRES — LAPILLIS — BOMBES FORMATION DU CRATÈRE, ETC.

---

29. Signes précurseurs. — Les secousses de tremblements de terre et l'élévation de la température des eaux des sources, des ruisseaux, sont les signes précurseurs constants des éruptions volcaniques ; cette règle n'a subi dans l'histoire des cataclysmes que de rares exceptions.

Les séismes sont quelquefois très violents et prolongés, produisant des dégats importants et les bouleversements du sol que nous avons précédemment indiqués ; d'autres fois on ne percevra que des secousses légères mais accompagnées de grondements, de détonations souterraines. L'assèchement de rivières, d'étangs, l'apparition de sources ther-

males, de nouveaux cours d'eau, de ruisseaux de boue sont des phénomènes prémonitoires assez fréquents.

Les glaces et les neiges qui recouvrent certains volcans éteints placés dans la zone secouée, fondent parfois subitement en provoquant des inondations désastreuses.

Fréquemment aussi des perturbations atmosphériques se manifestent : orages, pluies diluviennes, chaleur accablante, froid subit, cyclones.

L'éruption se produit enfin et son allure sera à peu de chose près la même, qu'il s'agisse d'un volcan éteint qui rentre en activité ou de la création d'un volcan nouveau.

Il se produit dans le sol, plaine ou montagne, une ou plusieurs ouvertures qui livreront passage aux produits volcaniques, mais suivant que la poussée interne aura eu ou non à vaincre une grande résistance pour ouvrir le sol la forme des ouvertures et la violence de l'explosion varieront.

30. Formation du cratère [1]. — Si le sol est peu résistant et si la quantité de gaz accumulés dans les profondeurs n'est pas trop grande, une explosion peu violente ouvrira une fissure de faibles dimensions.

Cette dernière s'établira dans la plaine en l'absence d'ancien cratère ou sur les flancs de celui-ci, s'il existe. Fréquemment elle n'est que la réouverture d'une vieille fente obstruée par les laves.

L'Etna a présenté des fissures de 20 kilomètres de longueur et de 5 mètres de largeur.

Une fente formée au cours de l'éruption de 1851 sur les flancs de la Montagne Pelée, à la Martinique, s'est réouverte cette année lors de l'éruption du mois de mai.

D'autres se produiront, s'il y a lieu, pour permettre la sortie des produits volcaniques.

[1] Le développement de la formation des cratères et des cônes volcaniques fait l'objet du chapitre VI.

31. — Les choses se passent différemment si le sol est très résistant, quand une très grande quantité de gaz tend à s'échapper et surtout quand les laves internes sont acides.

Une explosion, souvent d'une suprême violence, se produit, projetant des débris arrachés au sol ; il se forme alors, non plus une fissure mais, dans un sol horizontal, une série de fentes rayonnant autour d'une ouverture circulaire souvent d'un grand diamètre, dénommée *cratère d'explosion*.

On trouve les cratères de cette catégorie dans les sols très durs :

Le cratère de Tazenat, près Manzat, en Auvergne, dans le granite.

Les cratères de l'Eiffel dénommés *maare*, dans les schistes et calcaires dévoniens.

Le maare de Gillenfeld près Laach a une profondeur de plus de 200 mètres.

La formation d'un cratère d'explosion dans un sol montagneux, comme c'est le cas, pour la réouverture d'un ancien volcan dont la cheminée est obstruée par des laves très compactes, du type andésitique par exemple, ou par un culot très épais de laves ordinaires — se traduit par la formation d'une ouverture circulaire et l'écrètement de la montagne.

Une seule explosion fit perdre au volcan Timboro, à Sumatra, 1 600 mètres de sa hauteur, par la projection d'une partie de sa masse évaluée à 1 400 kilomètres cubes, soit 3 fois le volume du Mont Blanc : 12 000 personnes furent ensevelies.

Le cratère du Pavin en Auvergne s'est ouvert dans la masse de basalte d'une éruption antérieure.

Le cratère principal de la Montagne Pelée appartient à la même catégorie.

En temps de repos, ces cratères se transforment en lacs : le lac Pavin en Auvergne, le lac des Palmistes au sommet

de la Montagne Pelée ; dans l'île de Nossi-bé, ces lacs sont très poissonneux.

32. Formation des fissures. — Lorsque le cône volcanique est très élevé, quelque soit la nature du cratère, il peut arriver que le poids de la colonne de lave dans la cheminée soit tel qu'il détermine la formation de fissures sur le flanc ou au pied de la montagne. Il en sera de même si les bouches en activité sont insuffisantes à l'évacuation des produits volcaniques.

33. Colonne de fumée (1). — L'éruption, proprement dite, débute par l'émission d'une colonne gazeuse, noire, qui s'élève verticalement à des hauteurs prodigieuses puis s'étale en un panache horizontal.

La hauteur de la colonne de fumée du Krakatoa en 1883 atteignit 14 kilomètres ; celle du Cotopaxi en 1877, 8 kilomètres et celle du Vésuve en 1877, 3 kilomètres.

La colonne s'élève verticalement, et sa puissance de projection est telle que les ouragans les plus violents ne peuvent la détourner.

Lors de sa sortie, elle projette des débris de la cheminée souvent à des distances considérables, et presque aussitôt après des *cendres*.

Sa couleur noire est due aux cendres qu'elle entraîne et son opacité est telle qu'elle éteint complètement les rayons solaires transformant le jour en une nuit obscure.

Elle paraît, la nuit, éclairée par intermittence, en reflétant les lueurs de la mer de lave en fusion qui bouillonne dans le sein du volcan.

Sa composition est très complexe et mal connue par suite de l'impossibilité de l'approcher d'assez près pour en faire

(1) Voir au n° 70.

des prises : on sait néanmoins qu'elle contient beaucoup de vapeur d'eau, des acides carbonique, sulfureux, sulfhydrique, de l'hydrogène libre et probablement des hydrocarbures.

34. — La présence de l'hydrogène fut très controversée, mais elle a été confirmée par les analyses spectrales faites à Santorin et à Hawaï par M. Janssen.

Cet hydrogène, quand il existe, s'enflamme dans l'air et produit une partie des flammes dont l'existence a été niée jusqu'aux expériences de Janssen et que l'on croyait n'être que des réflexions lumineuses.

35. — Des éclairs jaillissent fréquemment entre la colonne de fumée et les nuages. Ils sont dus à ce que les phénomènes de la vaporisation d'un liquide, de la détente brusque d'un gaz échauffé sont accompagnés de l'électrisation des particules gazeuses.

Les orages volcaniques concentrés tout autour de la colonne de fumée sont particulièrement violents par le nombre et l'éclat de leurs éclairs ; ils frappent d'épouvante les populations avoisinantes.

Les bruits souterrains n'ont point cessé et ils ne cesseront pas durant la phase aiguë de l'éruption.

36. Projections de débris. — Dès sa formation, la colonne de fumée lance des *débris* et des *cendres*, mais les premiers pourront n'apparaître que pendant les premiers instants. Les cendres font souvent défaut dans les éruptions purement *boueuses* qui déterminent une catégorie spéciale de volcans dont il sera traité à part.

Ces débris sont, pour une partie, formés de morceaux du sol tombés à l'intérieur du cratère, lors de l'explosion première et pour une autre partie de blocs arrachés aux pro-

fondeurs par la violence de propulsion de la colonne de fumée, par les explosions et les mouvements oscillatoires de la lave.

De dimensions variables, depuis le grain de sable jusqu'au bloc d'un poids de plusieurs tonnes, ils sont projetés en tous sens et nous font connaître la nature du sous-sol.

Puis, apparaissent les *projections volcaniques* dont les plus fines constituent la *cendre* (voir nos **37** et **38**) et les autres les *scories* et les *bombes*, suivant leur forme et leur aspect.

Les *scories* donnent des blocs informes, à texture caverneuse, scoriacée, déchiquetée, souvent enduits d'un émail superficiel.

Les *bombes* sont des masses de lave qui prirent dans l'espace un mouvement de rotation et leur forme se rapproche de celle d'un ellipsoïde de révolution terminé à ses deux extrémités par une sorte de queue. La surface est lisse et généralement cannelée comme si la bombe avait subi un mouvement de torsion autour de son grand axe.

A Pranal, près de Pontgibaud, dans le Puy-de-Dôme, on trouve facilement des bombes dont certaines ne mesurent pas moins de 70 centimètres de grand axe.

Ces projections se font par le cratère principal et par les cratères et fissures secondaires, dits *adventifs*.

Une grande partie de ces projections retombe à l'intérieur du cratère, d'autres s'accumulent sur ses bords et donneront naissance à un cône de débris (Chap. VI) ; le reste lancé au loin peut tomber à plusieurs kilomètres du point d'émission.

On cite les distances parcourues de :

2 000 mètres à l'Etna ;

3 000 mètres au Vésuve, en 1779 ;

13 000 mètres au Cotopaxi, en 1533.

par les matières projetées.

Dans certains cas de projections par fissures sur les flancs d'une montagne, la trajectoire est horizontale.

La composition des projections laviques est celle de la lave propre du volcan considéré ; lorsque celle-ci est très siliceuse ces projections se présentent en masses poreuses, perforées, très légères qui constituent la pierre ponce.

37. Sables volcaniques. — La violence du jet des gaz qui s'échappent du cratère *pulvérise* la couche supérieure de la lave et entraîne des particules d'une extrême ténuité.

Les plus grosses constituent les *sables* et les plus fines les *cendres* volcaniques.

Les sables sont formés pour partie de petits cristaux d'augite remplis de vacuoles et d'inclusions vitreuses, analogues aux cristaux que l'on obtient en brisant, avant complet refroidissement, un laitier de haut-fourneau, à structure généralement amorphe. La cristallisation semble se produire sous l'influence du choc mécanique produit, dans le cas qui nous occupe, par la projection rapide et brusque hors du bain lavique.

Ces sables se sont formés parfois en si grande abondance, qu'ils sortirent du cratère sous forme de ruisseaux qui coulèrent au pied de la montagne (Eruption du Vésuve de 512-1631 et 1823).

38. Cendres volcaniques. — Les cendres dont la ténuité est parfois extrême retombent en partie dans la région environnant le volcan ; le reste est emporté par la colonne de fumée à laquelle il communique l'opacité, la couleur noire, caractéristique. Arrivées dans les régions élevées de l'atmosphère, elles ont perdu de leur vitesse initiale et sont entraînées par les grands courants aériens.

Elles parcourent alors des distances souvent considérables.

avant de retomber sur le sol. C'est ainsi qu'il est fréquent que les cendres de l'Etna, du Vésuve soient transportées en Grèce, en Asie Mineure, en Egypte ; en 1875 des cendres volcaniques d'Islande s'abattirent sur Stockholm distante de 1900 kilomètres, en ligne droite, du foyer éruptif.

Elles renferment en cristaux brisés ou quelquefois complets les feldspaths de la lave (andésine, anorthite, labrador, oligoclase leucite), de l'augite, de l'hypersthène, de la magnétite, du fer oxydulé, des agrégats microlithiques d'augite et de fer oxydulé, et des parties vitreuses. Souvent des cristaux sont noyés ou soudés entre eux, par cette matière vitreuse dont la structure variable d'un cas à l'autre présente parfois des particularités intéressantes (fig. 7).

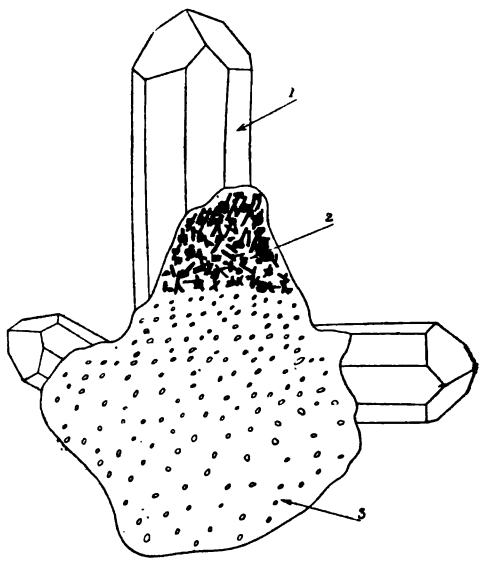


Fig. 7. — 1, augite ; 2, agrégat d'augite et de fer oligiste ; 3, matière vitreuse.

Cette structure est tantôt poreuse, bulleuse, tantôt esquilleuse, rappelant celles des larves bataviques, tantôt fluidale avec inclusions.

La composition du verre amorphe se rapproche de celle de l'obsidienne.

39. — Les plaines avoisinant les volcans se recouvrent d'une couche de cendres de 50 à 60 centimètres

d'épaisseur, tandis que, dans les ravins et les courbes, le vent en accumule parfois une hauteur de plusieurs mètres.

Même sous une faible épaisseur, l'action des cendres sur la végétation est pernicieuse, et ce, d'autant plus qu'elles seront davantage imprégnées d'acides sulfhydrique et sulfureux que l'humidité transformera ultérieurement en acide sulfurique.

40. Orages volcaniques. — Les pluies des orages volcaniques abattent sur le sol une fraction supplémentaire des cendres et quand elles sont suffisamment violentes, forment des torrents qui charrient une masse boueuse plus ou moins pâteuse qui détruit et renverse tout sur son passage. Ce sont les *torrents de boue* (voir n° **184**).

41. Formation du cône volcanique. — L'émission par les cratères et fissures, des gaz, des projections du sous-sol, des projections laviques, des cendres, a une durée absolument variable ; quelques heures et souvent des mois, pendant lesquels les explosions continuent dans les profondeurs, souvent perceptibles à plusieurs centaines de kilomètres si grande est leur violence — avant que la sortie des laves ne commence à s'effectuer (voir chap. VI).

Pendant ce temps, les divers produits tombés autour de la fissure ou du cratère circulaire forment un bourrelet périphérique qui croît chaque jour, pendant que d'autres débris tombant et roulant au pied du bourrelet ébauchent le *cône* volcanique que les laves consolideront. Notons seulement en passant, pour montrer la rapidité de construction des cônes que, en 1538, celui du Monte-Nuovo s'éleva en 48 heures.

42. Emissions gazeuses. — Simultanément, par les fissures nouvelles ou réouvertes, sortent des dégagements gazeux dont le rôle est très important ; on les désigne sous

le nom de *fumerolles* et nous prions le lecteur de se reporter, pour ce qui les concerne, au chapitre III.

43. Tufs et cinérites. — Les projections grossières ultérieurement agglutinées par les eaux peuvent prendre une grande dureté avec le temps, et des éruptions successives venant chacune accroître l'épaisseur du dépôt engendreront des masses stratifiées souvent d'une grande puissance, dénommées *tufs*.

C'est une couche de cette nature et d'une puissance de 45 mètres qui recouvre Herculanum.

Ces dépôts peuvent aussi se former dans un lac, une rivière, une mer, aussi renferment-ils souvent des débris végétaux et animaux qui se manifestent à nous par des empreintes, des restes siliciflés ou simplement pétrifiés.

Les cendres produisent des dépôts analogues, de couleur blanche ou grise pouvant renfermer des débris de la faune et de la flore de l'époque. Au Pas de la Mogudo, près Vic sur Cère, dans le Cantal, se trouvent des bancs de cinérites particulièrement riches en empreintes végétales.

Les dépôts alluvionnaires ou stratifiés, intercalés dans les tufs et les cinérites permettent de se rendre compte de la succession des éruptions, de leur chronologie et de leur âge géologique.

CHAPITRE II

—

LES LAVES — ÉPANCHEMENT DE LA LAVE PLANS ÉRUPTIFS ALLURE ET REFROIDISSEMENT DES COULÉES

44. — Sous la dénomination de *lave*, nous comprendrons toutes les roches liquides rejetées par les volcans : trachytes, andésites, laves à labrador, laves à anorthite, basaltes, limburgites, etc... dont l'apparition constitue, dans l'esprit du public, mais à tort, la caractéristique d'une éruption complète. Elles sortiront des cratères pendant un temps variable de quelques heures à plusieurs années, d'une façon continue ou intermittente, et pendant ce temps les dégagements de fumée par les cratères, des fumerolles par les fentes persisteront pour ne cesser qu'après l'arrêt des coulées de laves et souvent longtemps après.

D'une composition rappelant celle des laitiers et scories métallurgiques, les laves sont formées, sauf les limburgites qui en sont dépourvues, — de feldspaths dont un prédomine, d'augite, d'hornblende, d'hypersthène, d'enstatite, de biotite, de magnétite, de fer oxydulé, de péridot... Une lave ne renferme pas tous ces éléments simultanément, elle est caractérisée précisément par la prédominance de certains d'entre eux et par l'absence de certains autres ; sa densité

est en raison inverse de sa teneur en silice et, ensuite de l'importance de ce dernier élément dans la classification méthodique des roches, c'est le dosage de la silice qui caractérise une lave.

Il en résulte que celles très siliceuses et visqueuses ayant une faible densité relative, sont dites *légères* par opposition à celles pauvres en silice et fluides, à grande densité, dites *lourdes*.

En général, les laves acides ont une teneur en silice de 55 à 66 °/₀ et leur densité est inférieure à 2,90 ; elles sont pauvres en fer, chaux et magnésie, et riches en soude et potasse. Les laves basiques dont la teneur en silice varie de 40 à 55 °/₀, sont pauvres en soude et potasse et riches en chaux, magnésie, fer oxydulé et magnétite. Leur densité est comprise entre 2,90 et 3,10.

45. — La répartition des laves, à l'intérieur du globe, ou tout au moins de leurs éléments constitutifs en un ordre en rapport avec leurs densités résulte de la constatation des faits suivants.

Les laves des volcans tertiaires sont *acides* et représentées principalement par les espèces suivantes :

Laves acides (composition pour cent)

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	(NaO.KO)	HO
Liparite et Ryolite	75 à 77	12,5	1,5	1,5	0,4	7 à 9	1
Trachyte . . .	62 à 64	»	»	2	»	8 à 10	»
Andésite . . .	60	»	»	6	»	7	»
Phonolithe . .	59 à 60	»	»	»	»	»	»
Pechstein . . .	63 à 73	9 à 13	»	»	»	2 à 8	4 à 9
Ponce	75 à 78	»	»	»	»	»	»
Obsidienne . .	66	8 à 19	0,5	1,5	»	2	0,5

Plus récemment, comme si l'écume siliceuse, légère, du laccolithe interne avait été éliminée, des laves plus lourdes,

moins siliceuses, par conséquent, apparurent dont les types principaux sont :

Laves basiques (composition pour cent)

	SiO^2	Fe^2O^3	CaO	MgO	(NaO.KO)
Dolérite . .	50 à 52	»	»	»	»
Norite. . . .	42 à 50	»	»	»	»
Gabbro . . .	52	»	15	»	2
Péridotite . .	41 à 45	»	»	43 à 44	»
Augitophyre .	49	»	»	»	»
Mélaphyre . .	55	6 à 10	7	3 à 5	4,5
Basalte . . .	43	15	12	9	3 à 5
Leucitophyre .	49	»	»	»	»
Leucotéphrite .	48	»	»	»	»
Leucitite. . .	43 à 45	»	»	»	»
Néphélinite. .	42,5	»	»	»	»
Limburgite . .	43	»	»	»	»
Tachylite. . .	50 à 53	»	»	»	»

Les laves basiques ont été reproduites artificiellement par MM. Fouqué et Michel Lévy par la simple fusion de leurs éléments ; celles acides n'ont pu être obtenues dans le laboratoire, nous ne connaissons pas leur mode de production et le rôle complexe joué dans leur formation par la vapeur d'eau, les minéralisateurs, et la pression.

46. — Cependant, actuellement, certains volcans possédant plusieurs cratères à des altitudes très différentes, rejettent par le haut, des laves acides et légères, et par le bas, des produits basiques et lourds — au cours de la même éruption.

A *Ténériffe*, les laves issues de trois points à altitude décroissante présentent les caractéristiques suivantes :

Teneur en Silice	Densité
55 %	2,35
52 »	2,94
47 »	3,01

A la *Soufrière* de *la Guadeloupe* on trouve de même :

Teneur en Silice	Densité
74 %	2,17
45 »	3,20

pour les laves des deux bouches extrêmes.

A la *Fournaise* de *la Réunion*, les laves issues du cratère supérieur et celles qui sortent plus bas, d'une fissure, sont caractérisées par :

Teneur en Silice	Densité
56,20 %	2,40
48,90 »	2,97

47. — Le fait qu'actuellement des laves acides, et des laves basiques sortent simultanément en différents points du globe, semble en contradiction avec la répartition des couches laviques suivant leur densité : ce n'est qu'apparent et il faut examiner toute la série des roches éruptives pour voir cette tendance nettement accusée.

Le granite et la granulite, types des roches acides voient leurs émissions prendre fin respectivement avec le permien et le carbonifère. Par contre, les mélaphyres et les spilites apparaissent avec le permien et le trias et les basaltes les plus anciens datent de l'oligocène.

Il y a donc tendance marquée à la basacité, mais la période de transformation n'est pas achevée, et pendant un certain temps encore les laves acides et les laves basiques viendront simultanément au jour, jusqu'à épuisement de l'écume siliceuse et venue des laves basiques seules, si l'ordre de classement des éléments du bain interne est bien celui que nous croyons.

Autant que possible, nous donnerons, pour chacun des volcans étudiés (voir Ve Partie), la composition des laves qu'il rejette ; dans ce qui va suivre nous allons examiner la manière d'être de la lave et de ses coulées.

48. Montée de la lave. — L'ascension des laves dans la cheminée se fait plus ou moins lentement : nous avons vu que le début des coulées pouvait être postérieur de plusieurs mois à l'ouverture du cratère.

Tantôt, à un moment donné, la lave s'élève brusquement et se déverse, tantôt elle monte d'une façon continue et lente ; souvent, aussi, elle monte, descend, et accomplit ce mouvement oscillatoire pendant un temps plus ou moins long avant de s'élancer au dehors.

Au *Stromboli*, l'altitude du cratère est de 1 000 mètres ; l'amplitude du mouvement oscillatoire de la lave est de 10 mètres.

Le même phénomène se produit au Mauna Loa (voir au n° **244**).

49. Formation de fissures adventives. — Pendant l'ascension de la lave et la durée de ses mouvements oscillatoires, pour peu que le cratère soit à une altitude un peu grande, la pression exercée par la colonne liquide sur les parois de la cheminée croît pour atteindre, dans certains cas, une valeur considérable.

On peut imaginer la valeur de cette pression en considérant qu'au *Cotopaxi* la hauteur de la colonne lavique au-dessus du niveau de la mer, dépasse 6000 mètres et à l'Étna, 3 000 mètres.

La pression des gaz ajoute son action à celle de la lave.

Les parois de la cheminée tendent à s'écarter, les anciens cratères et fissures sont sollicités à se réouvrir sans préjudice de la formation, pour la même cause, de fissures sur les parois du cône.

Le plus fréquemment, les fissures prennent naissance en dessous du cône terminal de débris qui recouvre la cheminée ; quelquefois ce cône terminal se fend sur toute sa hauteur.

A l'Etna, une éruption sur quatre (résultat de 80 observations) se fait par fissures à des altitudes comprises entre 800 et 2 000 mètres, tandis que le sommet du cône est à 3 000 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Pendant la nuit du 29 septembre 1759, alors que, depuis près de six mois, la contrée était secouée par des secousses de tremblements de terre, une fente s'ouvrit dans la plaine sur laquelle 6 cônes volcaniques se formèrent, dont le plus important est le Jorullo. Les laves issues étaient visqueuses et de nature andésitique.

En Auvergne, les 60 cônes volcaniques sont répartis sur une fissure rectiligne N. S. de 18 kilomètres de longueur.

Une fente est rarement unique, surtout si elle a quelque étendue. Plus fréquemment, c'est un système de fentes à peu près parallèles qui s'ouvrent sur les flancs du cône pendant que des fissures anciennes s'ouvrent à nouveau et laissent échapper les produits de l'éruption.

La largeur de la fente est souvent réduite à moins d'un mètre, quelquefois elle atteint 200 mètres (Etna), (voir n° **241**).

50. Plans éruptifs. — L'effort qui, dans une éruption, provoque la réouverture de fissures, affecte de préférence celles qui présentent une direction déterminée, et d'une éruption à l'autre la direction générale des fissures réouvertes peut changer, et avec elle, l'individualité de ces dernières.

En un mot, chaque cône volcanique portant d'anciennes fissures, présente un certain nombre de directions distinctes suivant lesquelles la réouverture se fera, et sans que des fissures appartenant à deux systèmes différents se réouvrent simultanément : les fentes non recouvertes laisseront échapper quelques fumerolles.

Charles Sainte Claire Deville a donné à ces directions le nom de *plans éruptifs* (1) (voir n° **240**).

L'intensité des efforts combinés des gaz et de la colonne de lave, peut cependant provoquer la réouverture suivant deux plans éruptifs différents en affectant d'abord tout un système, puis ensuite l'autre.

L'Etna présente deux plans éruptifs ; l'un est dirigé suivant l'axe du Val del Bove, et l'autre dans la direction de la fissure qui s'ouvrit en 1865 sur les flancs du Monte-Frumento.

Le Vésuve présente plusieurs plans éruptifs (voir n° **240**).

Gaz et laves trouvant leur issue par les fissures que l'intensité du phénomène fait successivement ouvrir sur les flancs du cône, les choses se passeront de la même manière qu'au cratère principal et des cônes de débris, dits *adventifs*, se formeront.

51. Epanchement de la lave. — La lave éprouve plus de facilité à s'épancher par les fissures latérales qu'à remonter la cheminée centrale pour s'échapper par le cratère principal, surtout si celui-ci est à une altitude élevée. Néanmoins elle emprunte quelquefois ces deux voies et au *Cotopaxi* on l'a vue couler par le cratère principal, à une altitude de 6 000 mètres, en même temps que par les crevasses latérales. L'épanchement par le haut est surtout fréquent sur les volcans de faible hauteur.

La sortie par le cratère principal est caractérisée par une suite ininterrompue d'explosions accompagnées de projections laviques surtout si la lave est acide et visqueuse. Le lac de lave occupant le cratère présente à l'air une grande superficie par laquelle le refroidissement s'opère : sa partie centrale se solidifie mais doit, à chaque instant, se rompre

(1) C. R. LX. p. 1140.

sous la pression des gaz, d'où les explosions et les projections signalées plus haut. Les bords du lac conservant leur fluidité, le magma s'écoule par la partie la moins élevée des bords du cratère qui se creuse par l'entraînement de ses matériaux par le courant de lave, et devient un *cratère égueulé*.

L'épaisseur et la résistance de la croute formée au centre du lac de lave sont souvent suffisantes pour retenir les débris retombés des explosions. Un second cône de débris peut alors s'élever à l'intérieur du cratère primitif et il pourra rejeter des gaz et de la lave.

Le fleuve de lave descend la pente du cône, franchit les obstacles du sol et gagne la vallée sans que les ravins, les rivières, les maisons soient un obstacle à sa marche : il renverse ce qu'il ne peut tourner ou franchir.

La nuit il ressemble à un trait de feu, et la journée à un ruisseau de miel.

Son allure est en rapport avec sa fluidité, et partant sa teneur en silice.

52. Température des laves. — Elle est beaucoup moins élevée que l'esprit est porté à le supposer; elle dépend, naturellement, de la teneur en silice et de la composition et elle est d'autant moins élevée que la lave est plus basique.

Des expériences de MM. Fouqué et Michel Lévy [1] il résulte que la reproduction des laves à leucite exige une température voisine de celle de la fusion du platine, soit 1.900° C, et la formation des laves à anorthite au moins 1.600° C. MM. Fouqué et Michel Lévy ont fait la synthèse de laves à labrador à la température de ramollissement de l'acier, et celle de néphélinites à la température de fusion du cuivre.

[1] Fouqué et Michel Lévy. — *Synthèse des Roches et Minéraux.*

Il est donc probable que, dans les profondeurs, les températures correspondantes à ces diverses variétés de laves sont au moins celles qui furent nécessaires à leur reproduction, mais on n'a jamais pu les mesurer.

Ce que l'on sait, c'est la température après épanchement qu'avaient certaines coulées que des observateurs ont pu approcher.

Au Vésuve, en 1865, Sainte-Claire Deville fit fondre un fil de fer dans la lave, ce qui implique une température voisine de 1.100° C. En 1794, une coulée du Vésuve fit cristalliser de l'argent et avait donc une température d'au moins 1.000° C.

En 1892, Bartoli mesura avec soin la température de la lave de l'Etna et trouva 1.000° C à la sortie et 800° C à 2 kilomètres du point d'émission.

Par contre, Banney [1] signala, en 1888, une coulée basique dont la température était de 670° C.

53. Coulées de laves. Moraines. Cheires. Grottes. Tunnels. Orgues. — Un courant de lave visqueuse coule en masse épaisse, large de front; il se solidifie rapidement — du moins à l'extérieur — et ne parcourt qu'une faible distance.

Le dégagement des fumerolles communique à la lave une texture bulleuse et le grand axe des vacuoles coïncide avec la direction de l'écoulement.

La surface extérieure se prend en une couche scoriacée, tout d'abord flexible, qui suit les ondulations de la partie liquide; mais, bientôt, devenue trop épaisse, elle perd sa flexibilité, se fissure, se brise. Les débris de cette gaîne scoriacée poussés par le courant de lave se dressent, montent les uns sur les autres pendant qu'une nouvelle couche de lave se solidifie et les fixe pour toujours dans la position qu'ils occupaient.

(1) Brit. Ass. 1888.

La partie inférieure de la gaine scoriacée adhère plus ou moins au sol, et sa vitesse est ralentie sans que celle de la paroi supérieure en soit affectée. Cette dernière subit, de ce fait, un mouvement de bascule, passe au front, s'y brise et tandis qu'une partie de ses débris vient s'ajouter à la moraine frontale, l'autre passe en-dessous de la coulée.

Des débris du sol cheminent sur les flancs de la coulée et, à l'avant, la lave entasse devant elle et repousse un amas de débris et de scories, véritable moraine frontale pouvant atteindre 10 mètres de hauteur.

La surface des coulées acides est hérissée de blocs scoriacés et c'est principalement au front que cette accumulation se produit en donnant à la masse l'aspect déchiqueté caractéristique des *Cheires* d'Auvergne et des *Sciarre* de l'Etna.

L'arrêt du courant de lave ne suit pas celui de l'émission.

Le poids de la colonne liquide exerce une pression sur le front qui continue à avancer en entraînant les parties d'amont; mais tandis que l'effet de la pression interne communique au front une grande compacité, les parties d'amont soumises au seul effet de la pesanteur se divisent en blocs de moindre compacité, et la coulée présentera, à son origine, des solutions de continuité.

La prise en masse commence au front qui se transforme en une roche compacte, à grain fin qui, lorsqu'elle est un peu épaisse, montre un réseau de fissures verticales s'arrêtant à une certaine hauteur.

Les parties de la coulée prises dans une fente du sol ou du cône de débris présentent un réseau de fissures perpendiculaires aux parois enveloppantes, et par suite, de même sens que la pression exercée sur elles.

Un refroidissement rapide communique à la lave une structure prismatique régulière; la matière ne cristallise pas, dans l'acception propre du mot, elle se fissure suivant

des directions constantes et se subdivise en prismes à six pans dont l'axe principal est perpendiculaire à la surface de refroidissement.

Ce phénomène se produit quand un filet lavique pénètre une anfractuosité du sol, s'insinue en dyke au travers des couches antérieurement déposées, débouche dans la mer, dans un lac, dans une rivière : l'axe des prismes est perpendiculaire aux parois encaissantes, à la surface de l'eau.

La subdivision prismatique n'affecte que les parties brusquement refroidies et c'est ainsi qu'elle s'atténue à partir du rivage d'un lac envahi par la lave pour disparaître à 200 mètres de là. Sur une coulée du Vésuve elle ne se manifeste plus à 300 mètres de la mer.

Telle est l'origine des colonnades basaltiques d'Ecosse, d'Islande, d'Auvergne ; celles-ci sont désignées sous le nom d'*orgues* et les plus réputées sont situées à Espaly, près du Puy, et à Bort.

Les gaz des fumerolles établies sur les coulées trouvant parfois à leur sortie une trop grande résistance s'accumulent à l'intérieur en une énorme bulle gazeuse qui creuse une cavité dans la masse. Cette dernière, par ses dimensions, mérite souvent le nom de *grotte* ; on en connaît dont le volume est de plusieurs mètres cubes.

C'est à la même cause ou à des explosions avortées que l'on attribue la formation des cônes creux que l'on rencontre parfois sur les coulées.

54. — Les laves basiques s'épandent plus facilement que les précédentes ; elles descendent en longues traînées visqueuses, s'avancent plus au loin, comblent des vallées, s'infiltrent facilement dans les fissures du sol et se solidifient en gardant souvent l'aspect extérieur qu'elles avaient à l'état fluide.

Elles se présentent en masses aux replis ondulés, tordus en spirales, cannelés, repliés sur eux-mêmes avec des lambeaux tordus, formant les *laves cordées*.

Au cours de sa marche, la coulée se solidifie à l'extérieur, mais moins vite que les laves acides et la gaine scoriacée se formant plus lentement, conserve plus longtemps sa flexibilité et ne présente pas l'aspect déchiqueté et hérissé des coulées acides ; mais l'allure du phénomène reste la même, et quand l'émission des laves prend fin, le front de la coulée continue à avancer et la colonne d'amont poursuit sa descente à l'intérieur de la gaîne ; grâce à la grande fluidité de la matière, le chemin parcouru par le front pourra être considérable, sans apport de nouvelle matière, et les vides à l'amont se trouveront être très grands.

Tel est le mode de formation des *tunnels* d'Angra, aux Açores, dont l'un mesure plus de 1.000 mètres de longueur sur 10 mètres de largeur et 6 mètres de hauteur, et de la *grotte* de *Graciosa,* toujours aux Açores, dont les dimensions principales sont 2.000 mètres, 100 mètres et en hauteur 30 mètres.

Des grottes et cônes creux produits le long des coulées par des explosions ratées ou l'accumulation des gaz de fumerolles se rencontrent aussi, mais avec des dimensions plus grandes que dans le cas de laves acides. La grotte de *Rosemond*, sur une coulée du cône Bory, à la Réunion, mesure 40 mètres de longueur, 20 mètres de largeur et 5 mètres de hauteur.

Les *couloirs* et *grottes*, dans les laves basiques, sont généralement couverts à l'intérieur d'un enduit vitrifié et portent des stalactites descendant des parties élevées et dont l'assemblement reproduit les illusions d'optique des stalactites des grottes calcaires.

La prise en masse des laves basiques s'accompagne de la subdivision en prismes hexagonaux dans les conditions que nous avons énoncées plus haut pour les laves acides.

55. Coulées interrompues. — Il arrive parfois qu'une lave très fluide suivant une pente très raide ne donne pas une coulée *continue* de l'orifice de sortie jusqu'au front, et que ce soit en quelque sorte par paquets que la lave descende. Aussi, quand le tout est solidifié, trouve-t-on sur les pentes douces des masses de lave réunies entre elles, et sur les pentes raides, des blocs, des paquets isolés de lave.

Ce fait s'est souvent produit dans la Cordillère des Andes et à l'île de la Réunion.

56. Vitesse d'écoulement des laves. — Antérieurement aux études de Sainte-Claire Deville on admettait que l'état de la surface extérieure d'une coulée reflétait l'allure et la pente du sol sous jacent, car on ne tenait pas compte de l'influence des trois éléments qui entrent en jeu : la fluidité de la lave, la valeur de la masse en mouvement, la pente du sol. Depuis, on a reconnu qu'aucune règle précise ne peut être établie et que l'on doit se contenter d'évaluations approximatives de la vitesse que prendra la lave sur une pente déterminée — et de la distance qu'elle parcourra avant de se prendre en masse.

En effet, d'après Sainte-Claire Deville [1], une coulée du Vésuve s'épancha liquide sur une pente de 30° et se solidifia en partie là où le sol présentait une inclinaison plus grande, de 35°. Au Mauna Loa, des coulées se solidifièrent sur des pentes de 60° et même de 80°.

On ne peut donc considérer que les vitesses extrêmes contatées sur des coulées : 8 mètres et $0^{m},06$ par seconde.

Toutes autres conditions égales, la distance que la coulée parcourra dépendra de l'importance de masse de la lave en mouvement et de ce que l'on peut appeler la *densité de lave* sur la coulée considérée. On ne peut donc dire, *a priori*, si une

(1) *Bull. S. G. F.* (2) XII, p. 1073.

localité est ou non en danger quand une très grande distance ou des obstacles naturels suffisamment importants ne la séparent point du volcan.

57. Refroidissement des laves. — Contrairement à ce que l'on croirait, les éruptions volcaniques provoquent peu d'accidents d'origine calorifique tant aux abords du cratère que sur le trajet des coulées.

Ainsi, un cône volcanique recouvert d'un manteau de neige et de glace, en temps de repos, conservera en partie cette couverture durant la phase éruptive. Au moment de l'explosion, des débris de neige et de glace seront projetés avec des scories et si l'épaisseur de neige est suffisante, la lave coulera sur celle-ci sans en amener la fusion jusqu'au sol.

L'eau de fonte de la neige et de la glace forme avec les cendres et les scories des torrents de boue et produit des inondations souvent plus malfaisantes que l'éruption lavique.

L'éruption du 26 juin 1877, au *Cotopaxi*, dont le cratère est à une altitude de 5943 mètres, au sommet d'un cône de 40° d'angle, amena la fusion d'un dixième seulement de la neige et de la glace qui recouvraient la montagne, et cependant la lave s'épanchait par le pourtour entier du principal cratère. Les torrents de boue arrivaient en plaine à la vitesse de 10 mètres par seconde, charriant des blocs de glace mélangés à des cendres et des scories.

Souvent même, la neige et des couches de cendres et de lapilli alternent, parfaitement stratifiées. Les volcans *Cotopaxi* et *Chillan* montrent cette disposition.

Il est rare que les laves provoquent des incendies par leur contact ; quand ceux-ci surviennent dans les localités envahies, ils sont généralement dus à la chute d'un appareil d'éclairage, ou d'un objet facilement inflammable dans un foyer quelconque. La preuve en est que si une coulée rencontre une forêt ou même un seul arbre, elle enserre le

tronc, noie les branches et les feuilles, mais sans en *carboniser* les tissus extérieurs. On a vu des feuilles imprimer leur empreinte dans la lave sans présenter de traces d'altération.

L'exiguité de la quantité de neige amenée à fusion sur le cône et la non altération des tissus végétaux cependant très fragiles sont dues à ce que la surface extérieure de la lave se prend très rapidement ; la très faible conductibilité calorifique de la lave forme écran entre la masse interne en fusion et l'objet en contact.

Mais une conséquence de cet état de choses est la très longue conservation d'une température élevée au centre de la coulée : souvent l'explorateur marche sur une lave solidifiée, froide, dont le centre est encore à la température du rouge.

Au Vésuve, Spallanzani enflammait un bâton en le plongeant dans les fissures de la croûte d'une coulée épanchée depuis onze mois.

58. Volumes de quelques coulées. — Rien n'est plus variable même pour un volcan en particulier.

A titre d'exemple, nous citerons le volume de quelques coulées (1).

Eruption du Vésuve en 1794, volume de la coulée : 23 400 000 mètres cubes correspondant à un côté de 286 mètres.

Ile Bourbon, en 1776, volume de la coulée : 68 700 000 mètres cubes, correspondant à un côté de 410 mètres ; et en 1787, volume de la coulée : 86 000 000 de mètres cubes, correspondant à un côté de 440 mètres.

En 1852, au Mauna Loa, la coulée mesura 50 kilomètres de longueur, 200 mètres de largeur, 100 mètres de profondeur. A 16 kilomètres du cratère, on voyait par les fissures de la gaîne la lave à la température du rouge vif.

(1) De Lapparent. — *Traité de Géologie*, p. 406.

CHAPITRE III

—

ÉTUDE
DES ÉMANATIONS VOLCANIQUES GAZEUSES
COLONNE DE FUMÉE. — FUMEROLLES
AVANCEMENT
ET RÉTROGRADATION DES FUMEROLLES
ÉTUDE
ET COMPOSITION DE QUELQUES FUMEROLLES
PRODUITS DE SUBLIMATION

---

59. — L'étude des dégagements gazeux d'origine volcanique, présente un double intérêt : elle conduit à une connaissance plus complète du phénomène éruptif, et jette un certain jour sur les réactions chimiques produites dans les profondeurs.

Ces émanations ne sont pas localisées exclusivement dans le cratère, et représentées seulement par la colonne de fumée : celle-ci, manifestation temporaire de l'activité des forces internes, disparaît pour faire place à des dégagements moins violents et de moindre importance, mais par contre plus durables, car certains ne cesseront, pendant des siècles, d'émettre des vapeurs, de déposer des produits solides sur les surfaces avoisinantes.

Il semble donc que les gaz aient un rôle prédominant dans le fonctionnement du volcanisme, d'autant plus qu'on les

verra se dégager en nuages abondants, tant des crevasses du sol que des coulées de laves épanchées depuis des semaines et déjà en voie de solidification. Tout en est imprégné : projections solides, coulées liquides et il n'est pas jusqu'aux sources, aux lacs de la région dont certains bouillonnent par l'ascension des bulles gazeuses.

L'étude de ces émanations désignées sous le nom de *fumerolles*, a été entreprise par Bunsen, en 1846 ; ce savant étudia les fumerolles des volcans islandais. Mais c'est à Sainte-Claire Deville, en 1855 et 1856, qu'on doit leur connaissance à peu près complète et les déductions de ce savant ont encore aujourd'hui force de loi. Plus tard, M. Fouqué, en 1865, à l'Etna et en 1867 et en 1875, à Santorin, compléta les travaux de son devancier.

Il n'y a pas lieu de s'étonner si nous sommes pauvres en analyses de gaz volcaniques contemporains de la phase active de l'éruption. La collecte de ces gaz est très délicate et les erreurs sont très faciles ; l'opérateur court les plus grands dangers et la plupart du temps il lui est impossible d'approcher de l'orifice d'échappement.

60. — Sainte-Claire Deville recueillait les gaz dans une ampoule vide d'air, montée sur un long tube terminé par un étranglement et une pointe effilée. Il introduisait le tube dans l'orifice, brisait la pointe effilée et, quand il supposait le remplissage achevé, fermait en fondant à la lampe, la partie étranglée du tube.

L'ampoule était mise de côté pour l'analyse, au laboratoire.

61. — A Santorin, M. Fouqué [1] opéra d'une façon un peu différente en vue de combattre une introduction d'air dans le réservoir à gaz, très difficile à empêcher avec l'appareil précédent.

[1] Fouqué. — Santorin et ses éruptions.

Nous donnons ci-dessous une description succincte du matériel employé par M. Fouqué.

62. *Premier cas.* — Pour recueillir les gaz se dégageant d'une nappe d'eau, M. Fouqué plonge un entonnoir A et une éprouvette B et les remplit d'eau, puis il retourne l'éprou-

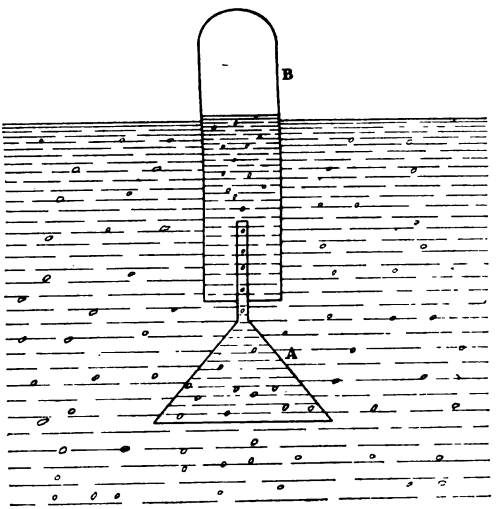


Fig. 8

vette sur le bec de l'entonnoir (fig. 8). Les gaz dont les bulles viennent crever sous l'entonnoir, montent dans l'éprouvette et la remplissent. Ce dispositif est commode en vue d'une analyse sommaire sur place.

Pour faire une provision de gaz suffisante pour des analyses précises de laboratoire, M. Fouqué emploie les dispositifs représentés figure 9.

Le tube AB porte une série de renflements de capacité convenable ou s'accumuleront les gaz. L'extrémité A est

reliée à la tubulure à robinet R de la cloche C et l'autre extrémité B plonge dans la cuve à eau M.

La cloche C et le tube AB sont préalablement remplis d'eau ; la cloche est plongée sur le quart de sa hauteur dans la nappe d'eau gazeuse, et l'on ouvre le robinet R.

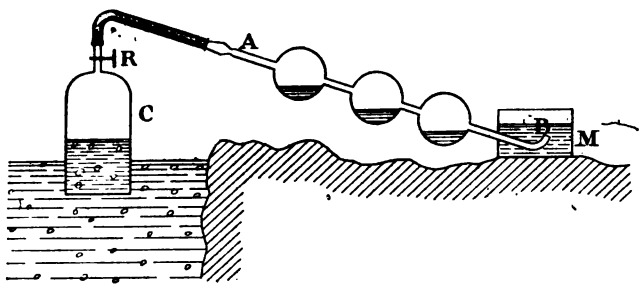


Fig. 9

Les bulles se dégageant sous la cloche passent dans AB et s'échappent en M. Quand toute l'eau du tube AB est chassée, on ferme R et l'on soude à la lampe les deux extrémités A et B.

63. *Deuxième cas.* — La collecte des gaz des fumerolles est plus délicate. En vue d'une analyse sur place, M. Fouqué emploie une éprouvette M fermée par un bouchon dans lequel passent deux tubes *a*, *f*. Le tube *a* est relié par un long caoutchouc à un tube de verre AB de 2 à 3 mètres de longueur et *f* est terminé par un tube de caoutchouc (fig. 10).

Le tube AB est plongé dans la fissure d'où s'échappent les gaz et, avec la bouche, on aspire par le tube *f* l'air contenu dans l'éprouvette et que viennent remplacer des gaz de la fumerolle.

Lorsque l'on juge que l'éprouvette est pleine des gaz volcaniques, on ferme à la lampe, les tubes *a* et *f*.

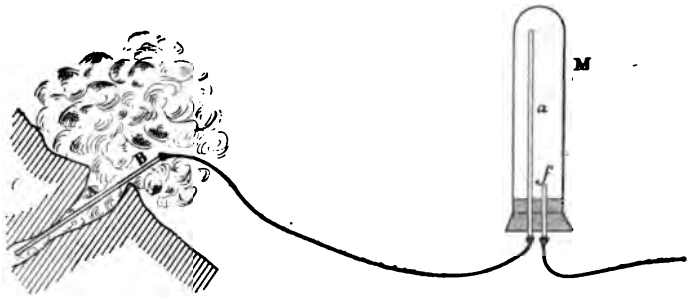


Fig. 10

64. — En vue d'une analyse de laboratoire, M. Fouqué utilise le tube à ampoules précédemment décrit. Les gaz sont pris dans la fissure, par un long tube de verre M, et

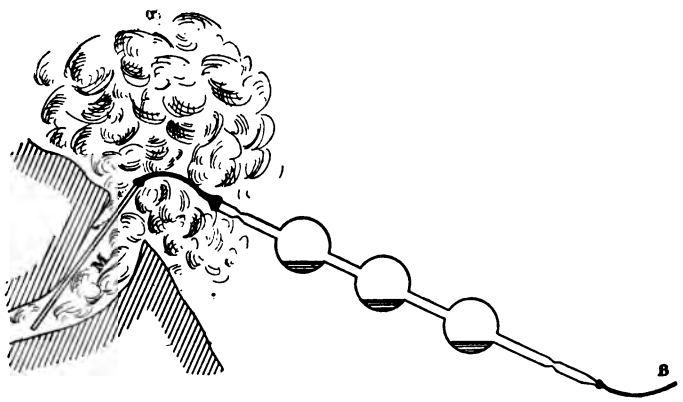


Fig. 11

conduits dans les ampoules (fig. 11) dont ils remplacent l'eau que l'on aspire à la bouche par l'extrémité B.

Dans les analyses sur place, on recherche l'hydrogène

sulfuré par l'acétate de plomb, l'acide carbonique par la potasse caustique, et l'oxygène par la solution d'acide pyrogallique additionnée d'un excès de potasse caustique.

65. — Les travaux de Sainte-Claire Deville dirigèrent l'attention des savants sur les fumerolles jusqu'alors négligées et la conclusion des études faites dans toutes les parties du monde, fut que les produits tant solides que gazeux, émis par un volcan n'ont pas une composition caractéristique de ce dernier et qu'il y a sur tout le glole, tout au moins pour les produits gazeux, uniformité absolue de composition quel que soit le volcan considéré.

La cause du volcanisme semble donc d'un ordre tout à fait général et ne paraît pas résulter de circonstances locales que l'on ne saurait trouver partout identiques au point d'engendrer des fumerolles de composition constante dans le temps et dans l'espace.

66. Position des fumerolles. — Les fumerolles comprennent tous les dégagements gazeux qui accompagnent une éruption et ceux qui persistent après que le volcan est rentré au repos.

Dans la première catégorie, sont : la colonne de fumée, les dégagements gazeux qui sortent seuls de fissures du sol, ceux qui jaillissent de crevasses en même temps que les laves, enfin les émanations que dégagent sans discontinuité, les coulées même en voie de prise en masse, et à grande distance du point de sortie du sol.

La seconde catégorie comprend les dégagements gazeux qui, après l'extinction du volcan continuent à sortir tant des anciennes fissures et cratères adventifs, que des crevasses qui n'ont pas vomi de laves et aussi des coulées elles-mêmes.

Ces gaz se présentent à nous sous l'aspect de fumées blanches, sauf les mofettes qui sont invisibles, et ils pourront arriver à l'air en traversant une nappe d'eau, si la fissure

qui les amène débouche sous la mer, sous un lac, dans le canal d'une source qui deviendra, de ce fait, hydro-thermale.

67. — Si, au cours de la phase la plus active d'une éruption, on fait l'analyse des gaz dégagés par les fumerolles en commençant par celles qui sortent avec la lave, au point le plus proche du centre d'activité éruptive, pour continuer par celles qui s'en éloignent, on constatera :

1° Une uniformité de composition des gaz issus de fumerolles placées dans des conditions identiques ;

2° Une variation de composition d'un groupe de fumerolles identiques à un autre groupe.

La composition absolue de ces gaz et ses variations se retrouveront les mêmes pour des éruptions distinctes d'un même volcan, et sur des volcans différents, comme nous l'avancions plus haut.

68. — On a été amené à classer les fumerolles d'après leur température en :

Fumerolles sèches, quand leur température est supérieure à 500° C.

Fumerolles acides, quand leur température est comprise entre 300° et 500° C.

Fumerolles alcalines, quand leur température est comprise entre 100° et 300°.

Fumerolles froides, quand leur température est comprise entre 30° et 100°.

69. Eléments constitutifs des fumerolles. — Sauf le cas des fumerolles sèches qui n'en contiennent pas, la *vapeur d'eau* forme la majeure partie des gaz dégagés.

Parmi les autres éléments constituants figurent :

Les acides sulfurique, sulfureux, sulfhydrique, carbonique, chlorhydrique, borique, arsénique ; les chlorures de potassium, sodium, magnesium, fer, cuivre, plomb, manganèse ; les sulfates de fer, magnésium, sodium, potassium,

ammonium ; l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, l'*argon ?* l'arsenic, le fluor, le chlore, l'iode ; le méthane ou gaz des marais accompagné d'hydrocarbures de la même série représentant, comme on le sait, les éléments constitutifs du *pétrole*.

Il va de soi que tous ces éléments ne se trouvent pas réunis simultanément dans une même fumerolle.

70. Colonne de fumée. — Elle forme une classe à part parmi les fumerolles ; sa température, supérieure à 500° C, la rapproche des fumerolles sèches, mais elle s'en distingue par la présence de la vapeur d'eau et d'acides.

On estime que sa température à la sortie est voisine du rouge.

Son principal élément constitutif est la vapeur d'eau : en 1865, les cratères de l'Etna en rejetèrent 2.000 mètres cubes.

Sa composition comprend, en outre : l'acide carbonique en grande quantité, l'oxygène, l'azote, quelquefois de l'hydrogène libre, les acides sulfhydrique et sulfureux et surtout des chlorures alcalins et des chlorures métalliques.

La proportion en acides sulfhydrique et sulfureux est des plus minimes, et même nulle sur les volcans à laves basiques, tandis qu'elle atteint son maximum sur ceux à laves acides.

71. Fumerolles sèches. — Elles sont caractérisées par leur température supérieure à 500° C et par l'absence de vapeur d'eau qu'une réfrigération à — 15° C ne peut déceler par condensation.

Elles sont presque exclusivement formées de chlorures anhydres, de potassium et de sodium principalement, de fer, de manganèse, de cuivre ; les chlorures alcalins ne se manifestent que si la fumerolle est issue d'une coulée encore fluide.

La proportion respective des chlorures de sodium et de potassium peut atteindre 94,30 et 16 pour cent, comme on l'a constaté au Vésuve en 1861 ; mais quand ces deux chlorures existent simultanément, la proportion de NaCl s'abaisse.

Une faible quantité de sulfates de fer, de potassium, de magnésium accompagne les éléments précédents.

On y rencontre l'oxygène et l'azote réunis dans la même proportion relative que dans l'air.

Ces fumerolles se dégagent des laves sans que celles-ci bouillonnent et à proximité de la fissure émettrice : elles se présentent sous l'aspect d'une vapeur blanchâtre, produite par *évaporation ;* peu odorantes elles rougissent, cependant, le papier de tournesol.

Si leur point de production est le centre de la coulée elles ne contiendront pas de chlorures de fer, de manganèse, de cuivre dont la présence ne se manifeste qu'autant qu'elles sortent des petits cônes adventifs, voisins des bords.

Le chlorure de sodium volatilisé par la haute température de la fumerolle se dépose sur les parois froides que rencontre le courant gazeux, et forme à leur surface un enduit blanc.

M. Fouqué pense qu'un amas de carbonate de sodium qui fut exploité dans une crevasse de l'Etna provenait non pas d'un dépôt de fumerolles, mais de la carbonatation du silicate de sodium contenu dans la lave.

72. — A Santorin, M. Fouqué rencontra une crevasse remplie d'un dépôt blanc dont voici la composition moyenne :

Partie soluble

$NaO2CO^2$	2,2	pour cent
MgCl	2,1	»
$NaOSO^3$	5,5	»
NaCl	73,8	»
$NaOCO^2$	traces	

Partie insoluble

$MgOCO^2$	15,5 pour cent
Al^2O^3 et Fe^2O^3	0,5 "
SO^3HO	0,4 "
$CaOSO^3$	traces

73. Fumerolles acides. — Cette seconde catégorie se rencontre plus loin du volcan que la première, là où la température est moins élevée, sur les crêtes des moraines latérales, sur les versants des vallées.

Elles sont caractérisées par la présence de la vapeur d'eau en très grande quantité, d'acide chlorhydrique et d'acide sulfureux, accompagnés de perchlorure de fer anhydre que la vapeur d'eau transforme en oligiste cristallisé, et de soufre qui se dépose en petits amas mamelonnés. L'azote est en excès relativement à l'oxygène.

Elles renferment 1 partie d'acide sulfureux et 10 parties d'acide chlorhydrique pour 11.000 de vapeur d'eau.

Leur température varie de 300 à 400° C et leur aspect rappelle celui d'un jet de vapeur blanche et opaque. Elles dégagent une odeur suffocante et rougissent franchement le papier de tournesol.

74. Fumerolles alcalines. — Ces fumerolles, dont la température est voisine de 100° C, renferment une très grande quantité de vapeur d'eau et une petite quantité d'acide sulfhydrique. Leur caractéristique est la présence du chlorhydrate d'ammoniaque, de l'ammoniac libre et du carbonate d'ammoniaque et l'absence de chlorures métalliques. Elles sont pauvres en oxygène. Le soufre forme des dépôts cristallisés en octaèdres.

75. Fumerolles froides. — Presque exclusivement formées de vapeur d'eau mélangée à 5 pour cent d'acide sulfhydrique et d'acide carbonique, ces fumerolles ont une

température nettement inférieure à celle des précédentes, et se rencontrent dans la zone la plus éloignée du volcan en cas de coexistence avec toute la série précédente.

Les fumerolles froides se dégagent parfois au fond d'un lac ou de la mer, alors leur teneur en hydrogène sulfuré baisse d'autant plus que l'eau est plus profonde, c'est-à-dire que l'on s'éloigne du centre d'éruption.

76. — Voici, à titre d'exemple, l'analyse des gaz de la fumerolle marine *Aqua Bollente* à différentes distances de la rive.

Désignation	HS	CO^2	O	Az
Gaz recueilli à terre	17,55	77,02	0,70	4,75
» vers le rivage.	traces	97,12	0,48	2,40
» à 50 mètres du rivage .	traces	86,76	1,89	11,35
» à 200 » » .	0	72,34	2,13	25,53
» à 250 » » .	0	38,79	3,79	57,42

77. — C'est également dans les fumerolles froides que l'on rencontre les hydrocarbures d'hydrogène, bien que Dolomieu ait signalé la présence du pétrole dans des scories récentes du Vésuve, et Janssen, la présence d'hydrocarbures mêlés à de l'hydrogène libre et à de la vapeur de sodium dans les flammes jaillissant du lac de lave de Kilauea, aux îles Sandwich.

78. — En 1861, Sainte-Claire Deville et Fouqué recueillirent des hydrocarbures dans une fumerolle marine du Vésuve, près de Torre del Greco ; ces gaz mélangés à de l'hydrogène formaient 88,46 pour cent du mélange, le reste, soit 11,54 pour cent étant représenté par de l'acide carbonique. La proportion relative du mélange d'hydrogène et d'hydrocarbures varie comme le montre le tableau ci-des-

sous, la proportion d'hydrogène diminuant au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre de l'éruption.

Les gaz recueillis à 1 mètre du rivage contiennent 1 de C^2H^4 pour 3,07 H
» » 15 » » 1 de C^2H^4 » 2,70 H
» » 200 » » 1 de C^2H^4 » 2,27 H

79. — En 1866, M. Fouqué [1] constata à *Santorin* des résultats identiques qui sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Désignation	Température	HS	CO^2	H	C^2H^4	O	Az
1. Gaz recueillis à la surface d'eau très sulfureuse dans une fissure du sol entre l'ancien cratère de Nea Kameni et le Giorgios, et au S.	73° C	traces	37,04	27,10	0,43	0,41	35,02
2. Gaz recueillis à Nea Kameni dans une fissure parallèle à la précédente	75 »	»	37,24	28,12	0,47	0,51	33,66
3. Gaz recueillis sur la fissure du n° 1 mais plus au N.	78 »	»	36,42	29,43	0,86	0,32	32,97
4. Gaz recueillis sur l'eau rendue laiteuse par la décomposition de HS dans le canal entre Aphroessa et Nera . .	61 »	»	35,60	30,09	0,81	1,46	32,04
5. Gaz recueillis sur l'eau rendue laiteuse près de la rive N.	60 »	»	0,07	1,62	0,71	21,56	76,04
6. Gaz recueillis autour de Reka sur de l'eau rendue laiteuse	60 »	»	1,49	—	0,42	18,45	79,64
7. Gaz recueillis sur la mer près de Palœa Kameni . . .	19 »	0	78,44	—	0,64	3,37	17,55
8. Gaz recueillis sur la fissure la plus au N. de Nea Kameni sur de l'eau très sulfureuse	69 »	traces	50,41	16,12	2,95	0,20	30,32
9. Gaz recueillis à la fumerolle O du Giorgios auprès de dépôts de soufre	160 »	1,64	17,28	traces	0,49	14,12	66,47

[1] Fouqué. — Santorin et ses éruptions.

En 1867, les fumerolles qui sortaient de la mer à l'extrémité des coulées, présentaient la composition suivante :

Désignation	CO^2	O	Az	H	C^2H^4
Fumerolle d'Acrotiri	0	25,94	72,12	1,94	1
» de Balos	0,19	20,09	64,34	14,98	0,40
» »	0,25	20,41	64,36	14,70	0,28
» »	0,57	18,05	65,51	14,96	0,31
» d'Athœneos . . .	0,22	21,11	21,90	56,70	0,07

80. — Certaines fumerolles, à Santorin, dont la composition est indiquée ci-dessous, semblent avoir pour origine de l'air entraîné dans les profondeurs et rejeté ultérieurement :

CO^2	O	Az
0	20,62	79,38
0	20,58	79,32
0,16	12,65	83,19

81. — A Port Saint-Georges, dans l'île de Nea Kameni, on rencontrait des fumerolles formées des éléments suivants :

CO^2	O	Az	H	C^2H^4
61,29	0,50	37,99	0,11	0,11
60,63	0,73	38,26	0,17	0,21
56,63	1,84	41,41	0	0,12

82. — En 1875, M. Fouqué étudia à nouveau les fumerolles de Santorin, et il est intéressant de comparer les variations produites dans leur composition au cours d'une

période de 10 ans, bien que en 1875, l'activité volcanique n'était pas encore calmée.

Fumerolles de St-Nicolas à Palœa Kameni	CO^2	C^2H^4	O	Az
	79,27	0,25	2,21	18,30
En mai 1866.	78,44	0,64	2,37	17,55
	76,06	0	12,39	11,55
En mai 1867.	79,27	0,25	2,21	18,30
En octobre 1875 . . .	70,29	0	2,18	27,53

83. — Les hydrocarbures doivent coopérer avec l'hydrogène et l'acide sulfhydrique à la formation des flammes depuis longtemps signalées dans les colonnes de fumée, mais dont l'existence longtemps niée ne fut officiellement adoptée qu'après leur constatation, par Sainte-Claire Deville, Fouqué, Verdet, Janssen tant aux volcans des îles Lipari qu'à Santorin et à Havvaï.

84. — Au cours de son voyage à l'île *Saint-Paul*, M. Vélain put étudier l'allure et la composition des nombreux dégagements gazeux que l'on rencontre sur le pourtour de la baie, tant sur la terre ferme qu'à la surface de la mer.

Les fumerolles subaériennes avaient une température moyenne, comprise entre 45 et 72° C, mais à une profondeur de quelques centimètres, le thermomètre marquait 104°C.

Elles étaient formées en volume de 9/10 de vapeur d'eau, et d'un mélange de :

CO^2.	97	pour cent en poids.
O	0,85	»
Az	2,15	»

La température variait chaque jour; elle avait son maximum en même temps que la marée haute, et son minimum à l'heure de la marée basse.

85. — Les fumerolles sous-marines, à *Saint-Paul*, renfermaient une quantité d'acide carbonique croissant avec la profondeur. La composition des gaz, en poids, était :

	CO^2	O	Az
A la surface.	2,16	14,38	83,46
A 25 mètres de profondeur.	8,40	8,94	6,99
A 47 » »	83,46	82,64	80,42

86. Origine des composants des émanations volcaniques gazeuses. — De tous ces éléments, le chlorure de sodium est le plus important par sa proportion dans les émanations gazeuses et même aqueuses des volcans ; d'autre part, les réactions dans les laboratoires nous le montrent comme susceptible d'être le pivot de la formation des autres corps qui l'accompagnent.

Quelle peut être l'origine de ce chlorure ? les deux théories le plus en vogue, neptunienne et plutonienne, l'empruntent, la première, à l'eau des océans infiltrée par des cassures de l'écorce jusqu'au contact des laves en ignition, la seconde à une réaction chimique, fort possible du reste, dont la reproduction a été faite par Gay-Lussac et Thénard.

87. — L'eau de la mer, d'après la théorie neptunienne, s'évaporerait dans les profondeurs et les sels qu'elle renferme se mélangeraient aux laves.

Composition de l'eau de mer

NaCl.	28	pour cent
MgCl.	3,92	»
(Na.K.Mg)Br	0,08	»
$KOSO^3$	0,89	»
$CaOSO^3$.	1,30	»
$MgOSO^3$.	1,70	»
$CaOCo^2$	0,12	»
Total. . . .	36,01	»

88. — Les partisans de la théorie plutonienne placent l'origine des chlorures de sodium, de potassium et celle de certains autres sels des fumerolles dans l'atmosphère qui entourait le globe, à l'origine, et que le refroidissement précipita. Sous l'influence de la pression atmosphérique d'alors évaluée à 250 atmosphères, les parties solidifiées mais encore très chaudes et surtout les parties encore liquides absorbèrent et dissolvèrent une grande quantité des gaz, vapeurs (vapeurs de $NaCl.KCl.Fe^2Cl^3$...) atmosphériques, sans compter l'apport au cours des précipitations.

89. — L'origine de l'acide chlorhydrique serait due, d'après M. Fouqué, à la réaction de la vapeur d'eau sur le chlorure de sodium à haute température :

$$HO + NaCl = NaO + HCl$$

réaction qui se produirait quand l'eau de mer arrive dans les profondeurs, au contact des laves fluides.

90. — Pour les plutoniens, Thénard et Gay-Lussac expliquent sa production par la réaction au rouge de la vapeur d'eau sur un mélange de chlorure de sodium et de silice.

$$HO + NaCl + SiO^2 = HCl + NaOSiO^2.$$

Dans la nature, la réaction ne se passe pas avec de la silice libre mais avec des silicates alcalins non saturés comme il en existe dans les laves.

91. — Les chlorures métalliques et la vapeur d'eau donnent à leur tour des oxydes généralement cristallisés.

92. — L'acide sulfurique, d'après la théorie neptunienne, résulte de la *réduction* à haute température du sulfate de chaux contenu dans l'eau de mer avec précipitation de

soufre qu'une réaction ultérieure transformera en hydrogène sulfuré.

93. — La théorie plutonienne admet aussi la production de l'hydrogène sulfuré par réduction de sulfates alcalino-terreux et alcalins.

94. — Les acides sulfureux et sulfurique proviennent de l'oxydation de l'acide sulfhydrique suivant les réactions classiques

$$HS + 3O = HO + SO^2$$

et

$$SO^2 + O = SO^3.$$

L'acide sulfurique en réagissant sur les silicates des laves forme des sulfates et met en liberté de la silice qui se dépose sous forme d'opale, surtout au début.

Les roches alumineuses, telles que les trachytes, donnent, avec cet acide, des dépôts d'alun, d'alunite généralement mêlés de soufre natif, comme on en voit au Mont-Dore.

95. — L'origine du chlorhydrate d'ammoniaque a été très discutée et l'on n'est pas bien fixé sur son mode de formation.

Néanmoins, voici les hypothèses soutenues à son sujet :

Bunsen en voit la provenance dans la distillation de matières organiques couvertes par les laves, et estime à 223 grammes la quantité de ce sel qu'un mètre carré de prairie pourrait produire.

Cette hypothèse est peu admissible, car nombre de volcans, tels ceux de certaines îles exiguës et arides, sont tout à fait dénués de végétation, et l'on ne voit pas bien des matières organiques, même sous-marines, s'introduire par le bas de la cheminée.

Voir au n° **215.**

96. — L'association des *hydrocarbures saturés* avec le chlorure de sodium dans les produits des fumerolles se retrouve dans les gisements pétrolifères souvent accompagnés de couches de sel, sans que l'étude de ces gisements ait permis de jeter une grande clarté sur la genèse de ces hydrocarbures.

Différentes hypothèses ont été émises : distillation de débris organisés provenant d'animaux enfouis, contemporains des couches encaissantes ; décomposition de produits végétaux ; enfin réaction de carbures métalliques sur la vapeur d'eau.

Sans nous attarder à développer ces hypothèses au profit de la dernière, suivant du moins l'avis qui prédomine aujourd'hui, nous n'examinerons que la troisième qui trouve l'origine de ces hydrocarbures dans une réaction de chimie minérale, et s'appuie sur les noms de Daubré et de Berthelot.

La densité moyenne de la Terre déduite de mesures astronomiques est de 5,56 et comme celle de l'écorce varie de 1 pour l'eau à 2 pour les roches légères et à 3 pour les roches les plus lourdes, il en résulte qu'il doit exister au centre du globe un noyau de densité beaucoup plus élevée ; or, de tous les éléments chimiques, les métaux sont les plus lourds et de là à conclure qu'au centre de la terre se trouve un noyau métallique, il n'y a qu'un pas. Ajoutons que, par analogie avec les météorites, il est probable que les métaux s'y trouvent à l'état de *fontes*, c'est-à-dire combinés au carbone.

Les métaux alcalins, sodium, potassium, ... réagissant sur l'acide carbonique, formeraient des acétylures alcalins que l'eau décomposerait ensuite en acétylène et oxyde alcalin.

Les dégagements gazeux des volcans si riches en acide carbonique et en vapeur d'eau rendent cette hypothèse admissible.

Mais la vapeur d'eau réagit simultanément sur les autres

métaux libres du noyau, les oxyde et laisse un résidu d'hydrogène gazeux qui se mélange à l'acétylène dans une enceinte à haute température et sous pression.

Les expériences de Berthelot, Friedel, ont établi que l'acétylène seul et mieux mélangé d'hydrogène chauffé sous pression, engendre tous les hydrocarbures de la série saturée, par conséquent ceux que l'on rencontre dans les fumerolles et dans le *pétrole*.

Telle est, de toutes les suppositions sur l'origine de ces gaz, celle qui jusqu'ici a su le mieux résister à la critique.

97. — L'acide carbonique, en exceptant le cas peu fréquent de sa production par réaction d'acides sur des roches carbonatées ou de décomposition de ces dernières par la chaleur pourrait trouver son origine dans la décarburation du noyau métallique et l'oxydation ultérieure du carbone dans des conditions diverses : oxydation directe par l'oxygène libre existant dans les fumerolles, oxydation indirecte par décomposition de la vapeur d'eau.

98. — La théorie de M. Armand Gauthier, exposée n° **215**, indique une genèse toute différente à ces différents composants des fumerolles.

99. Transformation des fumerolles. — Les études de Sainte-Claire Deville et de Fouqué ont montré maints exemples de *rétrogradation* des fumerolles dans la période d'apaisement d'un volcan ou au contraire d'*avancement* dans les moments de remise en activité.

Il y a *rétrogradation* d'une fumerolle lorsque de sèche elle devient acide ou quand d'acide elle devient alcaline, en un mot quand sa température s'abaisse et que la composition de ses gaz se modifie au point de la faire ranger dans une

catégorie inférieure. Nous dirons qu'il y a *avancement* dans le cas contraire.

Ce phénomène est, à nos yeux, le seul qui permette de juger des dangers que présente un volcan dont on suspecte la remise en activité et de la fin de la période cataclysmale.

100. — Lors d'un réveil, s'il n'existe plus de fumerolles datant de la précédente éruption, des dégagements d'acide carbonique se manifesteront qui, bientôt, s'enrichiront d'hydrocarbures et dès lors le doute ne pourra plus subsister sur la probabilité d'une éruption ; la fumerolle deviendra ensuite alcaline puis acide et l'éruption proprement dite se produira.

Si, au contraire, des dégagements gazeux persistent depuis le dernier cataclysme, on le verra changer de nature, et devenir successivement caractéristiques des catégories supérieures de fumerolles.

En un mot, le dégagement d'hydrocarbure est l'*alpha* et l'*oméga* du phénomène d'éruption volcanique.

Le Cotopaxi a montré le double mouvement des fumerolles lors de l'éruption de 1877.

Avant l'évènement, en 1872, le cratère principal situé au sommet portait une fumerolle *froide* T = 68° C dégageant de l'acide sulfhydrique et du chlore.

Aussitôt après l'éruption, en 1877, cette fumerolle est remplacée par une autre *acide* T = 160° C formée d'acide chlorhydrique.

En 1878, celle-ci est redevenue *froide* et a repris la composition qu'elle avait en 1872, moins toutefois la présence du chlore.

Le Vulcano des îles Lipari, en 1866, a vu ses fumerolles avancer puis rétrograder lors de sa dernière éruption.

Au Vésuve, l'apparition des hydrocarbures dans les fume-

rolles, par rétrogradation, marque la fin de l'éruption en 1879.

Des dégagements hydrocarbonés, accompagnés d'eau salée précédèrent de 9 mois l'éruption de l'Etna de 1865.

101. — Nous ne saurions citer d'exemple plus typique que celui de l'Etna, pendant la période de décroissance de 1865, et dont l'étude fut minutieusement faite par M. Fouqué. Les détails qui suivent se rapportent aux derniers jours du mois de mai [1] :

102. *Fumerolles sèches.* — Elles manquaient complètement le 29 mai, dans la région des cratères dont le plus actif, arrivé à la seconde période, n'était plus qu'une fumerolle acide. Mais, au début de l'éruption, en février, il n'en était pas ainsi pour les cratères les plus actifs qui donnaient des fumées claires transparentes sans odeur acide, et dont les parois n'étaient point recouvertes du dépôt de chlorure de fer et de chlorhydrate d'ammoniaque. Les projections liquides, témoins de la haute température qui régnait à l'intérieur de ces bouches, présentaient une réaction alcaline très nette due à l'action d'un dépôt blanc qui recouvrait chaque projection de lave ou de scorie, et ce dépôt était le même que celui que l'on trouve à la surface des coulées quand elles sont le siège de fumerolles sèches. L'alcalinité était due au carbonate de soude associé au chlorure de sodium, sulfate de sodium et aux sels analogues de potassium.

A côté de ces fumerolles sèches, il s'en produisait, toujours à la fin du mois de mai, un grand nombre offrant des caractères intermédiaires à ceux des fumerolles sèches et des fumerolles acides : à côté d'une acidité très marquée et d'une teneur souvent élevée en vapeur d'eau, elles étaient

[1] C. R. LX, 1186.

riches en chlorure de sodium et présentaient une température voisine du rouge. En outre, leurs dépôts étaient beaucoup plus riches en sels de cuivre que ceux des fumerolles sèches et même, parfois, le sel de cuivre était si abondant qu'il masquait le chlorure de sodium.

103. *Fumerolles acides.* — De tous les cratères sortaient des fumerolles acides formées principalement d'acide chlorhydrique, de chlorure de fer et surtout de chlorhydrate d'ammoniaque. L'acide sulfureux et le soufre s'y rencontraient, en petite quantité, et l'acide sulfhydrique faisait presque toujours défaut.

104. *Fumerolles alcalines.* — M. Fouqué les observa toujours à la partie inférieure de la lave et jamais dans les cratères ; il en compta des centaines.

Elles étaient ordinairement arrondies tandis que les fumerolles acides étaient allongées et linéaires : très pauvres en chlorure de fer, elles étaient surtout caractérisées par une haute teneur en carbonate d'ammoniaque et en chlorhydrate de la même base. Les fumées blanches qu'elles dégageaient étaient fortement alcalines et se précipitaient autour des orifices en un dépôt de chlorhydrate d'ammoniaque renfermant une trace de sulfate de la même base. Le carbonate très volatil ne se déposait pas.

Le soufre et l'acide sulfhydrique accompagnaient les vapeurs ammoniacales, mais l'acide sulfureux s'y présentait en si faibles proportions que sa présence devait résulter de l'oxydation d'une partie de l'acide sulfhydrique.

105. *Fumerolles de vapeur d'eau.* — Elles se rencontraient nombreuses sur les cratères prêts de s'éteindre et au voisinage de ceux-ci. M. Fouqué n'y trouva ni acide sulfhydrique ni acide carbonique.

106. — Nous pourrions citer maints autres exemples qui confirment ce que nous avancions plus haut et qui fut révélé et coordonné pour la première fois par Sainte-Claire-Deville [1].

107. — L'avancement ou la rétrogradation d'une fumerolle se fait quelquefois très lentement, quelquefois brusquement; il semble même, dans certains cas, que des termes de la série soient omis par la soudaineté et la violence des bouleversements internes. Une transformation lente est toujours accompagnée d'une période intermédiaire pendant laquelle, aux produits précédemment dégagés s'ajoutent un ou plusieurs du terme suivant et la nature de la fumerolle ne peut plus être déterminée que d'après celle du produit gazeux, prédominant et caractéristique.

108. — Mais en même temps que les fumerolles dégagées par les appareils adventifs rétrogradent, il y a avancement au contraire dans le cratère central; les acides chlorhydrique et sulfureux mélangés à 90 % de vapeur d'eau réapparaissent et la température monte jusqu'à ce que des éboulements dans la cheminée viennent réduire l'intensité du dégagement gazeux.

109. — L'avancement ou la rétrogradation des fumerolles en même temps que s'accentue l'intensité ou la décroissance du phénomène éruptif, constitue une loi générale applicable aux volcans à laves acides comme à ceux à laves basiques; toutes les expériences de contrôle faites depuis 1852 l'ont confirmé.

110. — La *marche* d'une fumerolle présente donc le

(1) C. R. LX, p. 552 et LXII, p. 1374.

même intérêt dans l'étude d'une éruption que celle de la température dans l'évolution d'une fièvre.

L'avancement permet de diagnostiquer une recrudescence d'activité des forces internes tandis que la rétrogradation est le prélude d'une acalmie.

111. — Mais si l'on compare la composition chimique, à un moment donné, de la série des fumerolles jalonnant une fissure, on constate une richesse d'autant plus grande en produits oxydables que l'on s'éloigne davantage du cratère principal.

Il semblerait donc, comme l'indiquait Sainte-Claire Deville, qu'un volcan est un appareil où viennent converger les produits de la combustion des divers composés gazeux. A mesure que l'on s'éloigne de ce centre, on trouve les indices d'une combustion de moins en moins énergique.

112. — D'où provient l'oxygène nécessaire à une oxydation qui se manifeste en un seul point ? Telle est la question.

Y a-t-il, comme l'indique M. de Lapparent, une rentrée d'air par la cheminée centrale ? On sait, par exemple, que les cheminées d'usine, dont la section est trop grande, rejettent les produits de la combustion en une colonne concentrique tandis qu'une couronne d'air froid suit une marche inverse le long des parois intérieures.

Cet oxygène provient-il des roches ? Mais en même temps se dégagerait une quantité d'hydrogène correspondant justement à sa saturation et ce dernier, s'il existe dans la colonne de fumée, ne s'y trouve pas en quantité suffisante pour justifier cette hypothèse.

Mais, et ceci semble en contradiction avec l'hypothèse de Deville, le Stromboli réduit à la phase solfatarienne depuis plus d'un siècle émet des vapeurs sulfhydriques et ammoniacales par son cratère principal, au travers ou tout au

moins en contact avec le lac de laves qui bouillonnent au fond.

113. Produits de sublimation. — Un certain nombre de produits solides se déposent sur les parois des fissures suivies par les fumerolles et sur les blocs que les gaz frappent à leur sortie dans l'atmosphère. La plupart d'entre eux sont cristallisés.

Une catégorie provient de la réaction mutuelle des gaz constituants des fumerolles et la seconde de la réaction de ces gaz sur les éléments des roches qui, pour la plupart, sont de la lave et des scories dans les pores desquelles les gaz s'infiltrent.

Dans la première catégorie on trouve :

Le *fer oligiste* en dépôt rouge et en paillettes cristallisées à reflet métallique ; il provient de la réaction à haute température de la vapeur d'eau sur la vapeur de chlorure de fer.

Il est très fréquent et l'on en trouve de très beaux spécimens en Auvergne et notamment au Puy de Gravenoire, près Royat.

La *cotunnite*, ou chlorure de plomb, en cristaux aciculaires, jaunâtres, déposés par voie de refroidissement.

Le *réalgar* et l'*orpiment* résultant de la réaction de l'acide sulfhydrique sur les chlorures d'arsenic.

Des *chlorures de cuivre* complexes, mélangés et combinés à d'autres corps.

L'*acide borique* se dépose en longues aiguilles blanches et soyeuses.

Le *sulfate d'ammoniaque*, le *chlorhydrate d'ammoniaque* et le *carbonate d'ammoniaque* se déposent autour des fumerolles en couches blanchâtres ; ils forment quelquefois des accumulations dans les anfractuosités.

L'*alun*, l'*alunite*, le *gypse*, la *célestine*, l'*aragonite* appartiennent à la seconde catégorie.

CHAPITRE IV

—

SOLFATARES — GEYSERS

114. — La durée de l'émission des fumerolles sulfhydriques peut se prolonger fort longtemps, pendant des siècles ; on dit alors que le volcan est entré dans la phase solfatarienne.

Du cratère et des fissures, continuent à sortir des nuages de vapeur d'eau mélangée d'acides sulfhydrique, sulfureux et parfois d'hydrogène libre, comme l'a constaté M. Gorceix à la solfatare de Pouzzoles, près de Naples.

Au contact de l'air humide, l'acide sulfhydrique se transforme en soufre cristallisé en octaèdres et en acide sulfureux. Ce dernier s'oxydant à son tour, devient de l'acide sulfurique dont les fines gouttelettes se condensent sur le sol et l'attaquent énergiquement.

Les dépôts de soufre atteignent parfois une puissance suffisante pour justifier une exploitation surtout si la solfatare encore en activité vient compenser à chaque instant l'apauvrissement du gîte du fait de l'exploitation.

Bien que d'origine volcanique, les mines de soufre de Sicile ne sont pas l'œuvre de solfatares ; les dépots en amas dans des calcaires tertiaires ont été produits par la réduction des bancs de gypse voisins par les émanations hydrocarbu-

rées d'origine volcanique dont on retrouve les traces; en certains points on a pu suivre la fissure qui donnait passage aux gaz réducteurs.

Les roches calcaires et même les roches feldspathiques sont attaquées par l'acide sulfurique. Avec les premières, il se forme du gypse, souvent en beaux cristaux et fréquemment associé à de la célestine dont le strontium a été fourni par des marnes tertiaires.

L'attaque des roches feldspathiques et notamment des trachytes produit du gypse, de l'alun soluble, de l'alunite insoluble, généralement accompagnés de soufre natif, dans les vides de la roche produits par la disparition du feldspath.

La solfatare de Pouzzoles et le Mont Dore fournissent de beaux échantillons de trachytes avec alunite et soufre.

Souvent aussi le réalgar, l'orpiment, l'acide borique en longues aiguilles soyeuses, se déposent sur les bords de la fumerolle.

115. Solfatare de Pouzzoles (*Italie*). — Elle est le dernier écho d'un volcan éteint depuis 1198, dont les laves de nature trachytique sont corrodées et incrustées de gypse, d'alun et de soufre natif.

Ce dernier se dépose principalement dans une grotte creusée dans le trachyte.

M. Gorceix [1] reconnut la présence de l'hydrogène libre dans les produits de la solfatare et l'on constata la disparition de l'hydrogène sulfuré de 1865 à 1869.

Cette solfatare est en relation avec le Vésuve dont l'intensité alterne avec la sienne.

116. — Le gaz qui s'échappe bruyamment de la solfatare de Pouzzoles [2] répand une odeur désagréable due à la présence du sel ammoniac et du sulfure d'arsenic qui forment

(1) C. R. LXXV, p. 154.
(2) C. R. LXIII, p. 746.

tout autour un dépot où Deville trouva des traces de selenium, de phosphore, de chlorure de cuivre. L'iode y faisait défaut.

La composition du gaz, en exceptant la vapeur d'eau qui y entre pour une proportion énorme, était :

SO^2	24,5
O	14,5
Az	61

Ce gaz avait la même composition que celui que Deville recueillit au fond de la solfatare du Vulcano ; l'identité se poursuit dans l'allure et la composition des dépots connexes.

A quelque distance, se trouve la *petite Solfatare*, d'ordre immédiatement inférieur. Voici la composition de ses émations toujours mêlées à une grande quantité de vapeur d'eau :

	Orifice n° 1 10 juin 1856 T = 95° C.	Orifice n° 2 10 juin 1856 T = 95 à 95°,5 C.		Orifice n° 2 30 juillet 1856 T = 72 à 76° C.			
HS CO^2	1,8	28,2	9,3	1,8 7,5	9,8	10,1	8,8
O Az.	98,2	14,9 56,9	90,7	17,7 73	90,2	89,9	17,7 73,5

	Orifice n° 3 30 juillet 1856 T = 90 à 91° C.						Orifice n° 4 30 juillet 1856 T = 92° C.				Orifice n° 5 30 juillet 1856 T = 91°
HS CO^2	22,6	3	59,4	1,8 2,5	2,7 16,5	0,8 4,3	16,5 32,4	51	52,5 3,8	38,6	5,4
O Az.	77,4	97	40,6	95,7	80,8	95,9	10,7 40,4		43,7	61,4	94,6

Ainsi, la solfatare comprend deux groupes distincts de fumerolles, mais la température des dégagements sulfureux et chargés de sel ammoniac n'est que de 88° C alors que la

température normale des fumerolles sulfocarboniques est de 90 à 95° C.

Mais, autrefois, les gaz étaient plus chauds, comme le prouvent les amas de *fiorite* ou silice hydratée que M. Scachi a décrits.

117. — Au *lac d'Agnano*, voisin de la solfatare, on trouve aussi deux groupes de fumerolles, l'un voisin de l'îlot trachytique de Monte Spina comprenant les dégagements à une température de 54 à 93° C de vapeur d'eau entraînant de l'acide carbonique et des traces d'acide sulfhydrique — et l'autre les dégagements de vapeur d'eau et d'acide carbonique.

La composition des gaz présente la même variabilité qu'à la *Solfatare* :

PREMIER GROUPE

ORIFICE N° 1										
	10 juin 1856 T = 71 à 87° C.			28 juillet 1856 T = 93° C.	28 juillet 1856 T = 83° C.			29 juillet 1856 T = 70 à 83° C.	29 juillet 1856 T = 66° C.	29 juillet 1856 T = 64° C.
CO^2+HS.	2,5	2,2	1,9	8,4	1,7	15,7	34,9	15,6	7,2	24
O . . .	19,7	15,6	19,8	17,3	98,3	84,3	65,1	84,4	92,8	96
Az . . .	77,8	82,2	78,3	74,3						

ORIFICE N° 2											
	10 juin 1856 T = 72 à 80°,7 C				28 juillet 1856 T = 78 à 84° C.			29 juillet 1856 T = 75 à 81,5° C.			
CO^2+HS.	11,7	5,9	22,4	3,6	19,2	15,1	20,8	19,6	19,2	16,3	17,1
O . . .	17,1	18,9	18,3	96,4	15,6	84,9	79,2	15,4	80,8	83,7	82,9
Az . . .	71,2	75,2	68,3		65,2			65			

ORIFICE N° 3						
	28 juillet 1856 T = 82 à 83° C			29 juillet 1856 T = 66 à 74° C		
$CO^2 + HS$	7	39,5	50	24,6	35,7	39,2
O	14,1	60,5	50	75,4	64,3	60,8
Az.	78,9					

118. — Les émanations du *deuxième groupe* se rencontrent à la *Grotte du Chien*, près Naples, à la *Grotte d'Ammoniaque* et aux *Étuves de Néron ;* elles sont, nous l'avons dit, composées de vapeur d'eau et d'acide carbonique, ce qui les classe dans la catégorie des *Mofettes* (voir n° **149**).

119. Solfatares de Rome. — A Canale, Latera et Scrofane, des solfatares ont imprégné de soufre des couches de lapilli et les fissures d'une roche silicatée antérieurement calcinée par le voisinage des laves.

Ce gisement rend 11,5 % de soufre raffiné.

120. Solfatare de Vulcano (*Ile Lipari*). — Depuis 1786 et sauf pendant le cours de ses éruptions de 1873, 1886 et 1889, le Vulcano est réduit à l'état de solfatare ; il est distant du Stromboli de 48 kilomètres.

Les gaz se dégagent du cratère principal, au-dessus d'un fond tapissé de produits divers parmi lesquels le sel ammoniac, le réalgar, l'alun, le gypse et l'acide borique en aiguilles blanches soyeuses. Le soufre se dépose sur les parois du cratère dont le périmètre et la profondeur sont respectivement de 2 000 et 300 mètres.

L'activité du Vulcano suit celle de l'Etna, et en 1886 les deux volcans entrèrent simultanément en éruption.

La colonne de fumée s'éleva à 10 kilomètres, et la température des fumerolles centrales monta à 360° C en même temps que des chlorures de fer, d'ammoniac et du réalgar se déposaient aux orifices. Conséquemment, la composition des gaz se modifia et devint la suivante, d'après M. Fouqué :

	T	(HCl, SO^2)	CO^2	O	Az
Fumerolle centrale très acide *avec dépôt de :* AsS^3 ; AzH^4Cl ; Fe^2Cl^3 .	360C°	73,80	23,40	0,52	2,28
Fumerolle latérale	250	66	22	2,40	0,60
Fumerolle latérale éloignée. . . .	150	27,19	59,62	2,20	10,99

Vers le rivage de la mer, les fumerolles dont la température était inférieure à 100°C ne contenaient plus d'acide chlorhydrique et déposaient des cristaux de soufre et d'acide borique.

Des dégagements gazeux s'effectuèrent sous les eaux de la mer, notamment à *Aqua Bollente ;* nous avons indiqué leur composition (n° **76**).

Depuis, le Vulcano a repris son rôle de solfatare et l'on exploite de temps à autre ses dépots de soufre.

121. Solfatare du Popocatepelt (*Mexique*). — La solfatare est dans le cratère principal, bien que celui-ci soit à une altitude de 5 410 mètres et que tout autour, un manteau de glace recouvre les flancs du cône.

L'exploitation commencée, en petit il est vrai, par les soldats de Pizarre, en 1519, se poursuit de nos jours et produit environ 10 tonnes de soufre par an.

Des hommes suspendus à des cordes se font descendre à 80 mètres de profondeur pour recueillir les dépots de soufre sur les parois ; une profondeur de 253 mètres les sépare du fond.

122. San Andres (*Mexique*). — Cette région couverte d'épanchements trachytiques est riche en solfatares telles que *El-Chillador* à 91°C, remarquable par le sifflement des vapeurs, *los Azufrès*, lac dont l'eau est à la température de 88° C et dont les bords sont tapissés de dépôts de soufre.

123. — Au Chili, les fumerolles sulfhydriques qui survivent à l'activité volcanique proprement dite, ne s'échappent point des cratères principaux ou adventifs de forme généralement circulaire, mais de crevasses situées à la base ou sur les flancs du cône.

M. Domeyko [1] les classe en 2 catégories :

Fumerolles sur crevasses allongées à dégagements violents mais de courte durée, accompagnés de la formation de conglomérats trachytiques.

Fumerolles sur crevasses exigues mais multiples à dégagements lents mais continus, avec kaolinisation des feldspaths.

A la première catégorie appartient la solfatare de *Cerro Azul* sur une fente de 9 kilomètres de longueur qui s'ouvrit subitement le 26 novembre 1847.

Dans la seconde on peut ranger celles de *Chillan* sur le flanc du volcan Nevado et de *Tinguiririca* à la température de 88° C sur le volcan du même nom.

124. Solfatares de Java. — Parmi les 120 volcans de l'île, 17 sont réduits aujourd'hui à l'état de solfatares dont les deux principales sont situées sur le cône du *Gedé* à 2 cimes jumelles et l'autre sur le *Papandajan* dont le nom signifie *Forge ;* cette dénomination provient de l'effroyable bruit que répandent sans arrêt le sifflement des fumerolles et les explosions des sources chaudes.

Les deux solfatares sont en exploitation dans un massif de laves trachytiques.

[1] Ann. des M. 7e série, IX p. 145 et suiv.

125. Solfatares du Japon. — Les deux principales sont sur les cônes *Yezan* et *Mi-Take* réduits à cet état depuis un temps immémorial. L'une et l'autre sont exploitées.

126. Solfatares de l'Islande. — Elles sont réparties dans les districts de Krisuvik, Jökulsa, du lac Myvatn et de Kerlingarsfjell.

Etagées sur les flancs des cônes mais séparées par groupes, elles consistent en petites éminences d'argile imprégnée de soufre, de gypse, d'alun, perforées d'ouvertures de 10 à 15 centimètres de diamètre par lesquelles les gaz et vapeurs s'échappent en sifflant : acides sulfhydrique, sulfureux, hydrogène, azote, vapeur d'eau. La surface de l'éminence et ses abords sont recouverts d'une croûte de soufre jaune.

Au nord de l'île, près de Reykjalid, on trouve des sources dénommées *maccalubes ;* par des ouvertures dans le sol, de 2 à 4 centimètres de diamètre, jaillit à intervalles de quelques minutes et à une hauteur de 5 à 6 mètres, une colonne de boue colorée en noir par du sulfure de fer dont la décomposition ultérieure produira du soufre.

Ces solfatares sont exploitées.

127. — Jusqu'à présent, nous avons vu la solfatare former une des étapes du volcan dans sa marche progressive et lente vers le repos.

Il se produit cependant des solfatares en quelques instants, là ou précédemment rien ne pouvait en faire prévoir la formation. Elles sont alors la trace laissée par un volcan dont toute l'existence n'aura duré que quelques heures — le produit d'une éruption manquée — comme celle de *Lagopuzzo* à 28 kilomètres au nord de Rome.

Le 28 octobre, des détonations retentirent, et le sol se fendit, creusant un gouffre que l'eau emplit et d'où s'échappèrent des gaz sulfureux et sulfhydrique. Un mois après, le

dégagement gazeux avait cessé, et il ne subsistait qu'un gouffre à parois verticales, de 100 mètres de diamètre, au fond duquel, à 5 mètres de profondeur, dort un lac dont l'eau est à une température supérieure de 7° C à celle de l'air.

128. Les Geysers. — Les solfatares et les geysers ont de si nombreux points communs qu'il est bien difficile de les séparer ; du reste, les Geysers sont toujours au voisinage des premières, et en relation directe soit avec un foyer volcanique soit avec des fumerolles ou des coulées encore à haute température.

Par définition, le Geyser est une fumerolle sulfhydrique dont les gaz sortent accompagnés de vapeur d'eau et d'eau liquide à une température supérieure à la normale.

Ils se rencontrent soit au voisinage de volcans en activité, soit dans une contrée qui fut le théâtre de phénomènes volcaniques éruptifs.

Mais, ce qu'il convient de remarquer avec M. de Lapparent [1], c'est que solfatares et geysers, et surtout ces derniers, ne se rencontrent que là où furent épanchées des roches acides : la solfatare de Pouzzoles est dans un massif trachytique ; celles des îles Lipari dans des ryolithes à 77 pour cent de silice ; les solfatares et geysers de San Andres, au Mexique, dans des trachytes et des obsidiennes ; — au Yellowstone, Etats-Unis, — à Tetarata, Nouvelle-Zélande, — à Mywatn, Islande, dans des ryolithes.

Ces manifestations ne se retrouvent pas au Mauna-Lea, îles Sandwich, qui rejette des laves très basiques, et fort peu à l'Etna dont les produits, quoique moins lourds, sont néanmoins basiques.

129. — Ce qui distingue le geyser des autres manifestations volcaniques hydrothermales, c'est l'intermittence

[1] Bull. S. Géol. Fr. (3) XVII, p. 285.

de son activité, et la périodicité à peu près régulière de ses projections aqueuses quelquefois mélangées de débris rocheux. Son activité va en s'atténuant avec le temps et le grand geyser d'Islande ne montre plus, à l'heure actuelle, les éruptions violentes d'il y a 50 ans.

L'Islande est très riche en geysers et c'est là que les premiers furent découverts au XIIIe siècle.

130. Geysers islandais. — Leur étude fut faite par des Cloizeaux en 1845 et par Bunsen.

Le *Grand Geyser*, le seul dont nous nous occuperons, est situé au sud-ouest de l'île, dans une plaine entourée de glaciers, à 46 kilomètres N.O. de l'Hécla et entre Reyjkawik et ce volcan.

Il est formé par un cône siliceux de 10 mètres de hauteur, de 70 mètres de diamètre, au sommet duquel est un bassin de 20 mètres de diamètre et de $2^m,30$ de profondeur. Au fond de ce bassin débouche la cheminée du geyser qui présente, en ce point, un diamètre de 3 mètres.

Le bassin et la cheminée sont remplis d'eau dont la température est, à la surface, de 80° C, et à la profondeur de $22^m,50$, de 127° C avant les éruptions et de 122° C après.

En 1845, toutes les 24 ou 30 heures une explosion se produisait, lançant un nuage de vapeur et une colonne d'eau de 3 mètres de diamètre et de 40 à 50 mètres de hauteur. Aujourd'hui, le phénomène se produit à peu près 2 fois par semaine et la hauteur de la gerbe n'est plus que de 15 à 20 mètres.

Certains signes précurseurs se manifestent : ascension de l'eau jusqu'au bord du bassin, arrivée de grosses bulles qui viennent crever à la surface de l'eau, ébranlement du sol, bruits souterrains, projection de petites colonnes d'eau, et enfin l'explosion finale, majestueuse. Après, la surface de l'eau se maintient à $2^m,50$ du bord du bassin et redescend à

son niveau primitif en 6 à 7 heures, pendant que de petites projections continuent à se produire.

Tyndall a donné une explication du phénomène geysérien que les expériences de Bunsen, faites au Grand Geyser, ont vérifiée.

Indiquons, tout d'abord, la température de l'eau dans la cheminée à différentes profondeurs (fig. 12) :

Point	Profondeur	Température observée	Température correspondant à l'ébullition de l'eau	Différence entre les températures
a	3,30 mètres	85°,5 C	107° C	21°,5 C
b	8,10 »	110° »	116° »	6° »
c	11 »	»	120°,8 »	»
d	13 »	121°,8 »	123°,8 »	2° »
e	18 »	124° »	130° »	6° »
f	22,50 »	126° »	136°,6 »	6°,6 »

On voit immédiatement que la température de l'eau en ces différents points est inférieure à celle qui correspond à l'ébullition en tenant compte, dans l'évaluation de cette dernière, de la pression exercée par les couches supérieures — et que cette différence va en diminuant jusqu'à un certain point pour croître ensuite.

L'apport souterrain gazeux qui s'échappe à la surface sous forme de bulles élève progressivement la température de l'eau, et sa force élastique devient, à un moment, suffisante pour imprimer à la colonne toute entière un soubresaut, comme on le constate du reste. Quand l'amplitude du mouvement atteint 2 mètres, la couche *d* vient en *c* où la température d'ébullition est inférieure à la sienne propre et il s'en suit une *vaporisation instantanée* qui projette une partie des couches supérieures.

Si cette explication est exacte, les couches situées entre

d et *f* doivent rester immobiles ; c'est ce que Bunsen vérifia en descendant des pierres dans la cheminée. La pierre placée en *c* fut projetée et celles qui se trouvaient en dessous restèrent en place.

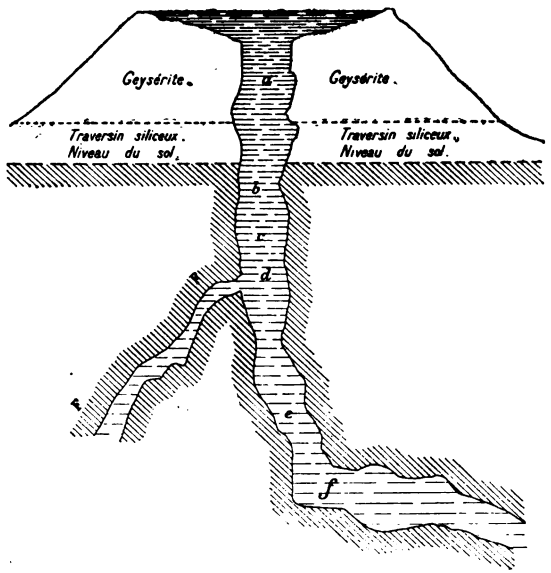


Fig. 12

Le réchauffement de la colonne en *c* est facile à expliquer par un apport, en ce point, d'eau chaude ou de gaz par une fissure FF.

Le manière d'être d'un geyser variera avec l'état et les dimensions de la cheminée, le volume et la température des gaz débouchant en *f* et surtout avec l'apport calorifique de la fissure FF. De plus, par la surélévation constante du cône et l'augmentation consécutive de la hauteur de la colonne d'eau, la température nécessaire à l'ébullition des couches profondes devient plus élevée; aussi, à un moment donné, l'apport calorifique de la fissure devient insuffisant.

131. Geysérite. — Le cône s'est élevé peu à peu par l'accumulation des déjections et il est à peu près exclusivement formé de silice à divers états.

Il repose sur une argile bolaire rouge, renfermant des cristaux de pyrite de fer provenant de l'action du fer qu'elle contient sur les vapeurs de soufre émanées des fumerolles.

Au-dessus, est une sorte de travertin siliceux renfermant des petits amas de l'argile rouge, des lits de calcédoine zonée, opaque quand elle est sèche, translucide quand elle est mouillée, dénommée *hydrophane*. Le travertin renferme à sa base un entrelacement de débris végétaux silicifiés, translucides et à cassure résineuse si le dépôt est ancien, blancs et friables s'il est récent. On y reconnut des feuilles et des branches de hêtre, de saule ainsi que des prêles.

Le reste est formé d'un tuf de *geysérite*, sorte de silice hydratée ou opale commune, en masses botryoïdes, stalactiformes.

Les parois de la cheminée sont parfaitement polies et d'aspect vitreux.

Les dépôts ne se forment point par décantation, l'eau est parfaitement limpide et se conserve telle pendant des années. Ils sont dus à une précipitation siliceuse par voie chimique qu'accélère la présence de certains végétaux notamment les algues, au point de porter de $\frac{1}{4}$ de millimètre à 140 millimètres l'épaisseur déposée en un an.

132. Composition chimique de l'eau. — Les analyses de des Cloizeaux et de Damour lui assignent la composition suivante par litre :

HS.	0,00377	grammes,	soit 2,44 cent. cubes
NaCl	0,2638	»	»
$MgOSO^3$ . . .	0,0091	»	»
$NaOSO^3$ . . .	0,0180	»	»
$KOSO^3$ . . .	0,1343	»	»
$NaOCO^2$ . . .	0,2747	»	»
SiO^2	0,5190	»	»
S	0,0036	»	»

soit 1 225 milligrammes de résidu fixe par litre. L'acide carbonique fait défaut.

Des recherches de M. Damour, il résulte que la silice existe dans l'eau à l'état de silicate soluble, et qu'elle provient de l'attaque des feldspaths des tufs volcaniques par les eaux souterraines.

Si l'on établit le rapport de la quantité d'oxygène afférente à la silice, à celle relative aux bases, on constate que plus ce rapport se rapproche de 1 : 9, correspondant à l'état de saturation, plus le dépot de silice est abondant — et que, au contraire, plus il s'en éloigne et moins la précipitation de la silice est rapide : ainsi, au Grand Geyser, ce rapport est justement 1 : 9 et le dépot est abondant, tandis que à la source Langarnes où ce rapport n'est que 1 : 3 la précipitation est insignifiante, la quantité d'acides chlorhydrique et sulfurique formés étant à peine suffisante pour achever de saturer les bases.

133. Geysers des États-Unis. — Le Parc National du Yellowstone, dans les montagnes Rocheuses, renferme environ 10 000 geysers ou appareils volcaniques de la même catégorie, et c'est là, qu'à l'heure actuelle, les manifestations geysériennes s'exercent avec le plus d'intensité, bien que depuis 20 ans, un affaiblissement notable ait été constaté.

Les deux centres principaux d'activité sont dans la vallée de la rivière *Fire-Hole* et sur les bords du lac *Sohshone*.

Le région essentiellement volcanique, est formée d'un massif de ryolithe que les eaux et les émanations geysériennes et solfatariennes ont vigoureusement attaquée; mais la date de la dernière éruption de ryolithe est inconnue et remonte fort loin.

Actuellement, il y a 84 geysers, 3 500 sources chaudes ou boueuses et 6 400 solfatares et soufflards en activité.

La vallée *Fire-Hole* est taillée dans la ryolithe, à une alti-

tude de 2000 à 2500 mètres à laquelle correspond une température d'ébullition de l'eau de 92 à 93°C. Les versants rocheux sont décomposés par les émanations sur une hauteur de 300 mètres, en grande partie kaolinisés, et enduits d'une couche siliceuse que des *diatomées* très nombreuses colorent en jaune, rouge vif, orangé, etc.

Les geysers et sources chaudes sont dans le bas de la vallée.

134. — Le *Géant* est formé d'un cône siliceux de 3 mètres de hauteur et de 8^{m},50 de diamètre. En 1882, d'après *American Journal*, il projetait en moyenne une fois par jour, une colonne d'eau de 2 mètres de diamètre et de 60 mètres de hauteur. Le phénomène durait de 15 à 35 minutes.

Il arrivait quelquefois que l'éruption principale était suivie de trois autres, durant respectivement 3, 4 et 9 minutes et séparées par un intervalle de 4 à 6 minutes.

Au moment des éruptions, M. Bradley a entendu des explosions dans la cheminée et on a compté jusqu'à 70 jusqu'à l'instant de la projection.

La *Ruche d'Abeilles* lance un volume d'eau de 70 mètres de hauteur.

Le *Vieux Fidèle* explose toutes les 55 minutes ; une masse de vapeurs s'échappe bruyamment, puis une colonne d'eau s'élève pour atteindre progressivement une hauteur de 40 mètres pendant que des sifflements retentissent, qu'un nuage de vapeurs de 125 mètres de hauteur enveloppe le geyser.

Puis, la hauteur de la colonne d'eau s'abaisse progressivement pendant que des jets de vapeurs continuent à sortir bruyamment.

Le *Geyser Architectural* est un grand bassin rempli d'eau, d'où jaillissent, dans toutes les directions, des colonnes d'eau et de vapeur.

Le *Château-Fort* est sur le bord d'un lac marécageux, son cratère a 10 mètres de hauteur et lance constamment des jets de vapeur et d'eau bouillante, à 3 mètres de hauteur.

A côté, se trouve une source limpide très profonde, dont la température est de 30° C au fond d'un bassin circulaire à bords dentelés.

135. *Composition de l'eau.* — Les eaux de tous les geysers du groupe de Yellowstone ont une température de 92 à 93°C; elles sont alcalines et presque toutes sont arsenicales. Elles ne renferment pas d'autres métaux que le fer et le manganèse.

Voici leur composition rapportée au kilogramme :

SiO^2.	0,47	gramme à	6,25	grammes
SO^3HO.	0,09	»	0,01	»
NaCl	0,57	»	0,25	»
CO^2.	0,29	»	0,01	»
BoO^3	0,03	»	0,01	»

136. Geysers de la Nouvelle Zélande. — Sur une fracture de 225 kilomètres de longueur allant du volcan Tongarivo à la baie d'Abondance, existaient en 1886, près d'un millier de geysers, sources chaudes, solfatares..... dont un grand nombre envoyaient leurs eaux au lac Rotomahana.

Une de ces rivières chaudes formait la célèbre cascade de Tétarata, à étages superposés, haute de plus de 25 mètres; elle était alimentée par le geyser du même nom qui sortait d'un cratère de 13 mètres de diamètre; sur les bords, la température était de 84°C. Au moment des explosions, le bassin se vidait sur une hauteur de 10 mètres en une énorme colonne d'eau accompagnée de vapeurs.

L'éruption de Tetarata, en 1886, a bouleversé la contrée et détruit les plus beaux geysers.

137. Geysers calcaires. — Les geysers que nous venons de décrire, ont leurs eaux chargées de silice, mais il en est qui, circulant dans des terrains calcaires, empruntent au sous-sol le carbonate de chaux qu'ils laisseront déposer à la surface.

A cette catégorie appartiennent les geysers du groupe de *Gardner's River*, au Parc National. En ce point, les ryolithes ont traversé des massifs calcaires dont les fissures sont suivies par les eaux chaudes.

Aujourd'hui, ces geysers sont réduits à l'état de sources chaudes à la température de 72° C environ. Le fond de la vallée est recouvert d'une couche de travertin calcaire dont, par endroit, l'épaisseur atteint 16 mètres, formant des terrasses de 100 mètres de hauteur.

Les *sources du Mammouth* sortent de ce travertin à la température de 66° C, et produisent un dépot de 2 millimètres en 5 jours.

Certaines sources ne coulent plus et bouillonnent au fond d'un cône de calcaire recouvert de stalactites roses; l'un de ces cônes, le *Bonnet Phrygien*, a 15 mètres de haut et 6 mètres de diamètre à la base.

138. — L'atténuation avec le temps de l'activité geysérienne amène successivement le geyser aux rôles de *fontaine bouillonnante*, puis de *source chaude*.

Autour du Grand Geyser, en Islande, il y a plus de 300 fontaines bouillonnantes ou *Hvenir* sans compter les sources chaudes ou *Langar*, citernes à l'eau transparente, laissant échapper une légère buée.

Les sources chaudes, boueuses de l'Islande produisant des dépots de soufre, rejettent une boue chargée d'alumine et de sulfure de fer et rentrent dans la catégorie des *Hvenir*.

Au Parc National de Yellowstone, nous retrouvons la même

série décroissante ; les eaux dont la température est inférieure à 66° C, forment d'abondants dépots de limonite.

Les sources qui sortent du *Mont Washburn*, déposent un magma renfermant du soufre, de l'alun, du chlorure de sodium et du carbonate de soude.

139. Soufflards ou Suffioni. — Ils diffèrent des geysers en ce que leurs dégagements sont continus, et qu'au lieu de lancer de l'eau accompagnée de vapeurs diverses, ils ne produisent que de la vapeur d'eau.

Les soufflards très nombreux en Toscane, y sont connus sous le nom de *Suffioni*. En Californie, dans le Nevada, on les appelle *Steamboat Springs*, et dans l'Amérique Centrale, *Ausoles*.

Généralement, la vapeur des soufflards est riche en acide borique.

Les *Suffioni* sont répartis par groupes de 10 à 20 sur des fissures du sol toscan, à Monte Cerboli, Castel Nuovo, Monte Rotondo, entre Livourne et Sienne, près de Volterra.

La vapeur d'eau à la température de 105 à 120°C, s'élève en jets de 10 à 30 mètres de hauteur ; elle est accompagnée d'acide carbonique, d'hydrogène sulfuré, d'hydrogène libre et de vapeurs d'hydrocarbures, et principalement d'*acide borique* accompagné de silice et de sels de chaux, de soude, de potasse, d'ammoniaque.

L'extraction de cet acide est, depuis 1815, l'objet d'une industrie active ; on construit un bassin autour de la bouche du soufflard où l'on fait circuler de l'eau froide pour condenser la vapeur à sa sortie et retenir l'acide borique. La solution ainsi obtenue est traitée ultérieurement par différents procédés dans lesquels on utilise la chaleur des gaz du soufflard.

On n'est pas fixé sur l'origine de l'acide borique : Dumas l'attribue à la décomposition par l'eau de couches de sul-

fure de bore, d'autres à la dissolution d'amas de cet acide provenant de l'évaporation de l'eau de la mer : l'eau de la Méditerranée en renferme $0^{gr},00002$ par litre.

Un forage fait à proximité d'un groupe de soufflards en produit un nouveau dont les débuts sont très violents.

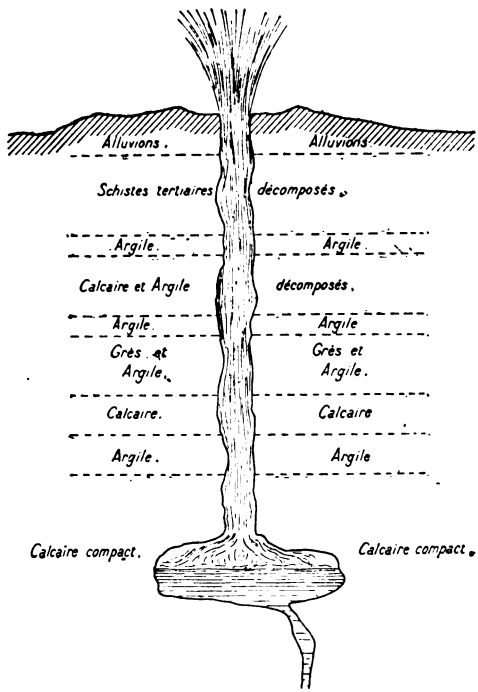


Fig. 13

La figure 13 montre la succession des couches du sol à Travale.

140. — Les *Steamboat Springs* sortent d'un amas siliceux mesurant 300 × 800 mètres avec une épaisseur de 5 à

6 mètres. Dans leur voisinage, la silice est gélatineuse et mélangée de sulfures métalliques et de minéraux divers, parmi lesquels le cinabre, l'oxyde de fer et même, paraît-il, l'or natif.

141. — Les soufflards voient leur activité décroître avec le temps, et ils servent de transition entre les Geysers et les Salses.

CHAPITRE V

—

SALSES — MOFETTES — TERRAINS ARDENTS FONTAINES ARDENTES

---

142. — Les solfatares, les geysers et les soufflards dérivent, sous des formes différentes, de la fumerolle sulfhydrique consécutive à un paroxysme volcanique, tandis que les salses correspondent aux fumerolles carburées. Les mofettes, en cloturant la série, sont la dernière manifestation du feu interne et se distinguent des autres fumerolles par une composition particulière : elles sont formées d'acide carbonique seul ou mélangé de vapeur d'eau.

143. Salses. — On en trouve un peu partout : en Italie, en Sicile, en Islande, en Caucasie, en Crimée, à Carthagène, à la Trinité, à Java. Les désignations de *volcan de boue,* de *macca-luba* en Sicile, de *salinelle* quand l'eau est salée, sont synonymes de salses.

La salse se présente généralement sous la forme d'une petite colline d'argile de 1 à 5 mètres de hauteur d'où s'échappent tantôt d'une façon continue, tantôt par intermittence, un magma boueux et des gaz.

Cette boue est délayée dans de l'eau renfermant du chlo-

rure de sodium, un peu de sulfates et de carbonates alcalins et très souvent du pétrole.

Les gaz qui accompagnent la boue sont formés principalement de carbures d'hydrogène, d'acide carbonique et quelquefois d'azote.

La température de la boue et du gaz est celle de l'atmosphère ambiante ; quelquefois même, elle lui est inférieure.

Voici, d'après Sainte-Claire Deville et Félix le Blanc, la composition des gaz de quelques salses et salinelles de Sicile :

Composition	Salses de			Salinelles de			Source acide de Paterno
	Xirbi	Girgenti	Terrapilata	sa Biaggia	Palerme	Lago di-Naphta	
C^2H^4	97,95	98,40	93,66	»	5,47	0,71	»
Az	1,12	0,35	»	30,05	»	»	1,74
CO^2	0,93	1,25	6,34	69,35	94,53	99,29	98,26

144. Salse de Girgenti (1). — Au nord et à 11 kilomètres de Girgenti, se trouve une colline de forme tronconique de 50 mètres de hauteur, et dont le sommet stérile, légèrement convexe, présente un périmètre de 7 à 800 mètres. Le sol est fait d'une argile grise, desséchée et feuilletée, en été, et qui recouvre une masse boueuse dans laquelle, à la saison des pluies, on risque d'enfoncer.

L'aspect est essentiellement différent en hiver et en été.

Pendant la belle saison, on trouve sur le sommet de la colline un grand nombre de petits cônes dont la hauteur varie de quelques centimètres à 1 mètre, et portant chacun

(1) Dolomieu. — *Voyage aux îles Lipari*, 1781.

un petit cratère au sommet. A l'intérieur de chaque cône, on voit un magma de boue grise, à forme extérieure hémisphérique, osciller de haut en bas et de bas en haut, puis s'approcher de l'orifice et crever pour livrer passage à une bulle de gaz qui projette de la boue au dehors.

En hiver, tous les cônes disparaissent et le sommet de la montagne est occupé par une cavité au fond de laquelle bouillonne un mélange pâteux de boue et d'argile.

Tel est, au cours d'une année, l'aspect de la salse au repos.

Les paroxysmes sont précédés de mouvements du sol, de bruits souterrains ; puis, tout à coup, une explosion se produit qui projette à plus de 50 mètres de hauteur une masse d'argile détrempée, et des torrents de boue descendent de la colline.

Un dégagement abondant d'hydrocarbures accompagne l'émission boueuse. Gaz et boue sont à la température de l'air ambiant.

Les éruptions les plus violentes de la salse de Girgenti succèdent aux grandes sécheresses.

145. Salses de l'Etna. — Il en existe plusieurs autour de ce volcan qui suivent les variations de son activité.

Celle de *Santa Venerina*, étudiée par M. Fouqué, sort de marnes crétacées, gypsifères.

Voici la composition de ses gaz :

HS	traces
CO^2	3,13
C^2H^4	71,76
H	3,70
O	1,18
Az	22,15

La présence de l'hydrogène est intermittente et correspond aux périodes d'activité ; le repos semble devoir rester d'autant plus au *fixe* que l'hydrocarbure est plus condensé.

A *Tempilota*, le nombre des cônes augmente pendant les périodes de tremblements de terre; des torrents de boue et des gaz s'épanchent, puis le sol s'ouvre suivant une direction E-O, toujours la même.

146. Salses des Apennins. — Près de Modène, elles sont distribuées sur une ligne à peu près parallèle à la direction des Apennins, E-O 17° N, et à une faible hauteur au-dessus de la plaine.

Celle de *Sassuno* est très ancienne car Pline en cite les méfaits.

En 1660, 1789 et 1835 elle provoqua des désastres.

En 1835, après de violentes secousses de tremblements de terre, la salse rejeta plus de 10 millions de mètres cubes de boue qui se recouvrirent d'efflorescences de sel marin.

Elle est voisine des sources de pétrole de Monte-Zubio connues depuis la plus haute antiquité.

147. Salses du Caucase. — Aux deux extrémités de la chaîne, dans la presqu'île de Bakou, d'origine volcanique, à l'Est, et dans la contrée marécageuse entre Taman et Kertch à l'Ouest, les salses sont nombreuses et jaillissent de cônes relativement élevés puisque leur hauteur varie de 150 à 300 mètres.

Le centre d'activité principale est au N-E de Bakou, au bord d'un étang salé de 7 kilomètres de longueur, et la fissure qui livre passage aux gaz se prolonge sous la mer Caspienne.

Près du *cap Schirkow*, au sud de Bakou, un dégagement de gaz perce au travers des eaux si violent qu'il est un danger pour les embarcations légères, et quand par hasard il s'enflamme, seules une tempête ou une pluie violente et prolongée peuvent l'éteindre.

Si, en Sicile, certains attribuent les salses à la réaction du

gypse sur le bitume avec formation de calcite, de soufre et d'hydrogène carburé, cette explication ne saurait s'appliquer à la région caucasique qui renferme, du reste, un ancien volcan, le mont Elbrouz, dont l'activité régnait au temps où la mer Caspienne et la mer Noire étaient réunies.

Le voisinage des salses renferme des sources thermales et des sources de pétrole.

Les paroxysmes sont annoncés par des mouvements du sol et des bruits souterrains ; les explosions de boue sont très violentes et suffisamment abondantes pour former des îlots dans la mer Caspienne quand les salses sous-marines entrent en jeu.

148. Mer Morte. — C'est de toutes les salses la plus minéralisée et, bien que ses dégagements gazeux soient insignifiants aujourd'hui, nous lui consacrerons une courte description due aux particularités qu'elle présente.

Elle occupe un bassin d'effondrement ; le niveau de l'eau est à 394 mètres et le fond à 800 mètres *au-dessous* du niveau de la Méditerranée et la superficie qu'elle couvre est de 1.200 kilomètres carrés. Elle est entourée de falaises basaltiques.

La densité de l'eau varie, suivant les endroits, de 1,162 à 1,25 ; le corps humain surnage.

Autrefois le niveau des eaux était beaucoup plus élevé ; les couches de marne et de sel gemme des collines voisines l'attestent.

La composition de ses eaux est particulière, et la différencie des mers. Elle contient deux fois plus de NaCl et trois fois plus de MgCl que la Méditerranée, mais ne renferme pas d'iode ; elle renferme du KCl et KBr, ce dernier à raison de 1 à 7 grammes par litre, et cela d'autant plus que l'on prend l'eau à une plus grande profondeur.

Les sources thermales très nombreuses dans la contrée

ont une composition analogue ; celles de Thibériade contiennent du KBr et des matières organiques.

Du temps de Strabon, l'eau de la mer Morte dégageait un gaz ternissant les métaux, puis, parfois, elle entrait en ébullition, après quoi on voyait surnager des morceaux de bitume.

Aujourd'hui, l'ébullition des eaux est rare, mais comme jadis, quand elle se produit, des flaques de bitume viennent surnager [1]. En quelques points de la surface, des bulles d'hydrogène sulfuré viennent crever.

Le bitume que l'on exploite suinte dans les calcaires, les dolomies et le tuf salin de la falaise orientale.

149. Mofettes. — C'est la dernière manifestation du volcanisme sous la forme d'un dégagement d'acide carbonique seul ou mélangé de vapeur d'eau, à la température de l'air ambiant ou à une température plus élevée.

Il en existe un peu partout : en France, on en trouve à Royat, à Clermont, à Pontgibaud.

Même à l'heure actuelle, des dégagements d'acide carbonique sortent en mains endroits du sol volcanique d'Auvergne, et aux mines de Pontgibaud une ventilation énergique était nécessaire pour protéger les ouvriers contre les infiltrations de l'acide carbonique.

En Allemagne, dans l'*Eiffel*, près du lac de Laach, on en compte plus de 1.000 qui sortent de grottes ou d'entonnoirs ; à Java, entre autres à la *vallée de la Mort*, sorte d'entonnoir de 30 mètres de diamètre ; au *Parc National* de *Yellowstone*, près d'un étang d'où sortent les gaz sulfhydrique et carbonique, dans un ravin de 75 mètres de longueur ; en Islande, sur les bords du *golfe Faxa*, près du volcan Snœfellsness éteint avant l'époque historique.

(1) Lartet. — *Bull. S. G. F.* (2) XXII, p. 420 et XXIII, p. 719.

150. — A l'île *Saint-Paul*, les mofettes sortent de sources thermales (voir n° **266**), de la mer et du sol, à une température de 50 à 72° C à l'extérieur, qui s'élève à 104° C à quelques centimètres de profondeur pour ne plus croître ensuite que très lentement.

M. Velain a constaté que la température des gaz suit la hauteur de la marée pour atteindre son maximum au moment de la pleine mer.

Elles sont formées, en volume, de $\frac{9}{10}$ de vapeur d'eau ; leur composition en poids, l'eau exceptée, est la suivante :

CO^2	97
O	0,85
Az	2,15

Ces gaz sont très acides et attaquent les roches avec formation d'argile, d'opale de toutes les variétés que l'on trouve sur le sol ou dans les cavités des roches. Souvent l'opale enveloppe de la tridymite.

Les mofettes qui débouchent au fond de la mer donnent d'autant plus d'acide carbonique et d'autant moins d'oxygène que le prélèvement aura été fait à plus grande profondeur, ce que fait bien ressortir le tableau ci-dessous :

	CO^2	O	Az
Echantillon pris à la surface	2,16	14,38	83,46
» » une profondeur de 25 mètres.	18,38	8,94	82,64
» » » » 47 »	12,58	6,99	80,42

Les mofettes les plus chaudes contiennent : pour 100 parties de gaz, 95 d'acide carbonique et 5 d'azote.

151. — On en rencontre plusieurs en Italie qui purent être étudiées avec précision.

A la *Grotte du Chien* (1), le 28 juillet 1856, les gaz étaient à la température de 29° C et formés de 74,5 à 78,1 pour cent d'acide carbonique et pour le reste d'air pauvre en oxygène.

152. — Le même jour, à la *Grotte d'Ammoniaque*, la température était de 32° C et la teneur en acide carbonique de 85,8 pour cent.

153. — Au *lac d'Agnano*, la teneur en acide carbonique atteint 98 pour cent.

154. — Les *Etuves de Néron*, creusées dans le tuf, à 10 mètres au-dessus du niveau de la mer, se composent de plusieurs chambres réunies par des couloirs tortueux.

La *partie supérieure* de la chambre, à partir de la hauteur de 1^{m},80 au-dessus du sol, est occupée par de la vapeur d'eau salée, exempte d'acide carbonique dont la température se maintient vers 42°,5 C quand celle de l'extérieur est de 26°,5 et dont la teneur en oxygène est très voisine de celle de l'air.

155. — Tandis que les solfatares et les geysers, qui ne sont en résumé que la même sorte de fumerolle mais sous deux aspects différents, accompagnent les laves acides à la venue desquelles elles semblent avoir coopéré (2), les mofettes qu'on peut attribuer à l'oxydation du carbone du bain métallique, sont au contraire dans le voisinage de laves basiques. Il semble donc que, dans le laccolithe interne, l'abondance des éléments volatils a diminué avec la profondeur, depuis la couche supérieure constamment brassée par les gaz jusqu'au résidu métallique du fond (3).

(1) C. R., p. 751.
(2) De Lapparent. — *Traité de géologie*, p. 484.
(3) De Launay. — *Formation des gîtes métallifères*, p. 33.

156. Terrains ardents. — On désigne ainsi des localités dans lesquelles les gaz que nous avons rencontrés dans les solfatares, les geysers, les salses, sortent d'un sol sec.

Le Modenais en renferme plusieurs.

A *Barigazzo*, les terrains ardents sont sur la crête des Apennins.

Bocca-Snolo renferme quatre foyers distincts dans un sol pierreux et bouleversé.

157. Fontaines ardentes. — Le dégagement de ces gaz au travers de l'eau produit les fontaines ardentes.

Près de *Gaggio*, un groupe de 5 sources thermales, situées dans la vallée, sortent d'un sous-sol de grès et dégagent un gaz inflammable.

Voici la composition, d'après MM. Fouqué et Gorceix [1], des gaz de 5 fontaines situées à *Poretta :*

Désignation	C^2H^4	CO^2	Az	HS
Bori	92,22	5,72	2,06	traces
Marte	92,16	5,06	2,58	»
Puzzola	91,48	1,84	6,68	»
Vedhia	90,75	2,02	7,23	»
Sasso Cordo	94,82	2,05	3,17	»

Certaines de ces fontaines répandent une forte odeur de pétrole d'où l'on a conclu que le gaz des marais C^2H^4 y est accompagné d'hydrocarbures liquides.

158. — Les *terrains et les fontaines ardents* sont très nombreux dans la région de Bakou et en Asie ; les Etats-Unis en possèdent aussi, au voisinage des gisements pétrolifères, dont certains ont été aménagés industriellement pour faire servir les gaz hydrocarburés au chauffage et à l'éclairage des villes voisines.

[1] C. R. LXIX, p. 947.

CHAPITRE VI

—

ÉTUDE DES MODES DE FORMATION DES CRATÈRES ET DES CONES VOLCANIQUES DOMES D'INTUMESCENCE — COURONNES

Nous avons indiqué sommairement, IIe Partie, Chap. I, les modes de formation du cratère et du cône volcanique. Mais en raison de l'intérêt spécial attaché aux divers procédés mis en jeu par les forces internes, et des conséquences qui en résultent, nous reviendrons ici plus en détail sur ces phases de la vie volcanique.

159. Cratères de fracture. — C'est le cas le plus fréquent. L'ébranlement causé par les secousses de tremblements de terre joint à la poussée exercée par les gaz provoquent une déchirure du sol de la plaine ou du flanc de la montagne.

La sortie violente des gaz et des projections attaque les parois de la fissure, l'élargissent dans ses parties faibles et finalement produisent un gouffre, un *cratère*.

160. Cratères d'explosion. — Les appareils de cette catégorie se rencontrent un peu partout, mais presque toujours sur des volcans à laves acides.

Comme leur dénomination l'indique, ils sont le résultat d'une explosion qui projeta dans les airs un fragment généralement circulaire de la surface du sol ; des fissures rayonnent tout autour de l'ouverture. Ils se forment dans une contrée vierge jusqu'alors de manifestations volcaniques, comme ils peuvent aussi se produire sur un ancien volcan.

Ici, le cratère se forme sans phase préparatoire ; il naît en un instant et généralement avec les dimensions qu'il conservera par la suite.

Aussi, l'explosion toujours des plus violentes atteint-elle quelquefois une intensité que l'imagination n'ose même concevoir, dans les contrées où les émissions de laves font défaut.

161. — Les *Maare de l'Eiffel* (voir n° **31**) sont des cratères d'explosion taillés dans le schiste et le grès dévo-

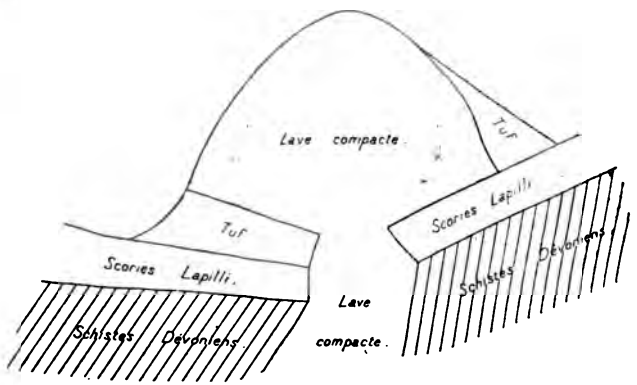


Fig. 14

niens (fig. 14). Les assises sédimentaires n'ont point été dérangées et présentent une section très nette.

Le *maar de Gemünd* mesure 400 mètres de largeur, 62 mètres de profondeur et ne porte pas de traces de coulées ;

mais autour, on rencontre un tuf volcanique avec débris de schiste intact et enveloppé dans une gaine vitrifiée.

Le *maar de Gillenfeld* est entouré d'une ceinture de débris volcaniques mesurant 45 mètres de hauteur, incliné de 45° vers l'intérieur et de 35° vers l'extérieur.

Le *maar de Weinfeld* mesure 520 mètres de longueur, 360 mètres de largeur et 102 mètres de profondeur et celui de *Meerfeld*, 900 mètres de longueur, 700 mètres de largeur et 200 mètres de profondeur.

En Auvergne, le *gour* de *Tazenat*, près de Manzat, a été ouvert par explosion dans un granit à grain fin qui, sur les trois quarts du périmètre, forme une falaise haute de 90 mètres. Il mesure 700 mètres de longueur et 66 mètres de profondeur.

162. — C'est dans les *îles de la Sonde*, où rarement les laves s'épandent, que les explosions sont les plus violentes.

Le *Pic de Timor*, que l'on apercevait à 450 kilomètres de distance, sauta en 1638.

Le *Roen*, à Java, fut dispersé en une nuit, en 1586, et anéantit 10.000 habitants.

A la place du *Papandajan*, on trouve un gouffre, immense solfatare en activité, mesurant 25 kilomètres sur 10.

Le *Krakatoa*, dans l'île du même nom, près de Java, fut projeté en 1883. Il disparut sous les eaux entraînant 20 kilomètres carrés de l'île, et 18 kilomètres cubes de débris furent dispersés dans tous les sens par la violence de l'explosion.

163. Cratères d'effondrement. — On connaît quelques bouches volcaniques qui furent creusées par un affaissement du sol dû à l'une des deux causes suivantes : échauffement puis affaissement d'un massif de laves antérieures, très fusibles — exhaussement d'une masse de laves ignées puis, la poussée interne venant à diminuer,

affaissement de la partie centrale avec formation d'une cavité cratériforme.

164. — A la première catégorie appartient le *cratère du Kilauea*, aux îles Sandwich.

La cavité est creusée dans des laves très fusibles dont les couches ont conservé leur stratification horizontale ; ses parois sont verticales. On ne trouve point, dans les alentours, de traces de projections violentes.

En confirmation de cette opinion, il faut tenir compte de ce que le volcan voisin Mauna-Lea, en activité, est à 3.000 mètres au-dessus du Kilauea et que l'on a vu, en maints endroits de l'île, se produire des effondrements de 50 à 60 mètres de profondeur.

165. — L'origine du *Grand Brulé*, à la Réunion, semble être la même.

Le cratère est au centre d'un cirque de 10 kilomètres de diamètre, de 250 à 300 mètres de hauteur, à parois verticales, laissant voir les tranches des coulées de laves superposées, avec lits de cendres et de projections interstratifiés.

Ces laves sont très fluides.

166. — Comme exemple du deuxième mode de formation des cratères par effondrement, nous citerons le cirque des *îles Santorin* étudié par M. Fouqué, et dont le grand axe ne mesure pas moins de 11 kilomètres.

En exécutant des fouilles, M. Fouqué trouva les ruines d'une maison dont les murs verticaux, encore à l'heure actuelle, sont assis sur le massif volcanique trachytique des îles, et ensevelis dans le tuf ponceux que l'on trouve en presque tous les points de l'archipel.

La date de la construction de la maison serait donc intermédiaire entre celle de l'épanchement trachytique et celle des projections ponceuses. Les objets qui furent trouvés

établissent que ses habitants vivaient environ 2.000 ans avant l'ère chrétienne (1).

Il y aurait donc eu, comme à Kilauea, formation d'un cratère avec épanchement lavique et sans projections préparatoires à la coulée.

Aussi, M. Fouqué admet-il, en raison de la nature trachytique des laves de Santorin, qu'une intumescence s'est faite sous la poussée des gaz et recouvrit la contrée; puis que, l'activité volcanique cessant, la *bulle de gaz* qui gonflait le dôme de laves visqueuses vint à exercer une pression moindre; ce dôme s'affaissa et une partie de la calotte disparut dans les profondeurs d'où elle était sortie.

167. — *En Islande*, les massifs de laves sont habituellement traversés par de nombreuses fissures qui les découpent en blocs et jouent le rôle de failles.

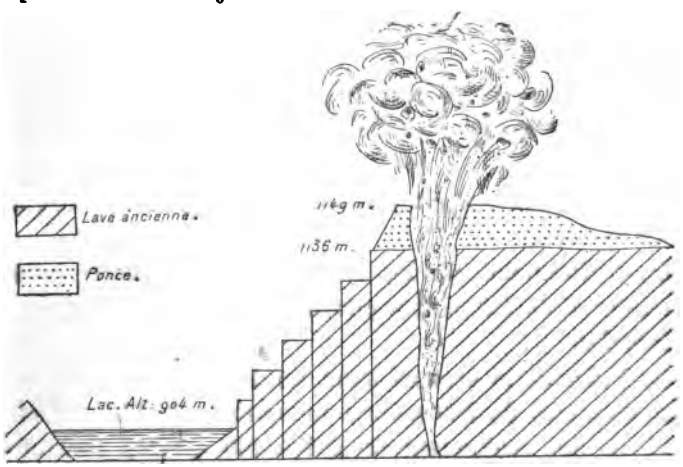


Fig. 15

Les blocs glissent les uns sur les autres et se disposent en gradins (fig. 15). Ces mouvements sont accompagnés de tremblements de terre.

(1) Fouqué. — *Santorin et ses éruptions.*

Il s'y présente des failles dont les lèvres séparées forment des précipices de 40 à 50 mètres de profondeur et présentent entre elles une dénivellation supérieure à 20 mètres.

Les orifices explosifs sont généralement situés sur la lèvre la plus élevée de la faille.

168. Forme des cratères. — Les formes de coupe et d'entonnoir sont à peu près générales ; les parois, parfois verticales, présentent ailleurs une inclinaison variable avec le degré de cohésion des couches dans lesquelles le cratère s'est formé et du diamètre des débris qui se sont accumulés tout autour.

Le fond dans lequel débouche la cheminée est tantôt plat, quand il est formé par un culot de lave solidifié, tantôt recouvert d'un cahos de débris provenant pour partie de la chute de blocs des parois et pour partie de lave moutonnée solidifiée.

L'emplacement du cratère ne résulte d'aucune règle ; tantôt il est au sommet, tantôt on le trouve sur les flancs de la montagne.

Comme on le conçoit aisément, ses dimensions sont tout à fait variables.

Ainsi Humboldt cite les chiffres de 1.600 mètres pour le diamètre et de 488 mètres pour la profondeur du cratère du *Pichincha*.

Au *Vulcano*, le cratère situé sur le flanc de la montagne a un diamètre de 550 mètres au sommet, de 180 mètres au fond et une profondeur de 120 à 180 mètres suivant les endroits. Ses bords sont verticaux.

Il va de soi que des causes nombreuses, en exceptant les éruptions naturellement, peuvent modifier la forme et les dimensions d'un cratère ouvert : pluie, gelée, tremblements de terre qui ont pour résultat de faire tomber à l'intérieur des

blocs empruntés aux parois quand celles-ci ne sont pas taillées dans une roche compacte.

Chaque éruption nouvelle l'ébrèche, l'aggrandit ou le réduit, modifie l'inclinaison des parois, et quand, ce qui est en somme peu fréquent, la lave s'épanche par le cratère principal dont les matériaux généralement détritiques sont peu stables, une brèche s'ouvre dans ses flancs et forme le *cratère égueulé*, en fer à cheval, dont on voit des types en Auvergne, entre autres aux Puys de la Vache, de Lassolas et au Puy Noir.

169. — Un cône se dresse parfois sur le fond du cratère, par lequel s'évacueront les produits volcaniques, gaz, projections. Généralement construit de débris, il ne présente qu'une faible résistance, ses dimensions varient fréquemment, et souvent même, il disparaît pour se réédifier en un autre point (voi n° **174**).

170. — Après que le phénomène éruptif proprement dit a cessé, la lave se solidifie et obture la cheminée ne laissant que quelques fentes qui donneront issue aux fumerolles. Mais il arrive souvent que, par ces fissures, on perçoit nettement la lave en ignition et même dans certains cas, le culot n'existant en quelque sorte qu'à l'état rudimentaire, le fond du cratère paraît occupé par un lac de lave en ébullition.

Cette dernière forme est nettement caractérisée au *Stromboli*, et pendant plusieurs années on put la constater au *Vésuve*.

171. Cône volcanique. — Aussitôt que le cratère s'est formé, commencent les émissions de débris puis de laves, et l'on voit le cône s'élever.

Celui-ci peut être exclusivement fait de lave, quand ce pro-

duit très fluide s'épanche dès le début et que les projections font défaut ou à peu près ; sa forme dépendra de la configuration du sol.

On ne connaît qu'un petit nombre de cônes de cette catégorie, en Islande, à *Odadahraun* — à la Réunion, au piton du *Grand Brûlé* — aux îles Sandwich, aux volcans de *Mauna-Kea* et de *Mauna-Lea*.

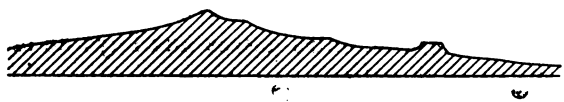


Fig. 16. — Profil du Mauna-Kea.

Fig. 17. — Profil du Mauna-Lea.

Ces derniers représentent plutôt des montagnes plates que des cônes, la pente des laves étant en moyenne de 6 à 8° et même, par endroits, de 3° (fig. 16 et 17).

172. Cônes de débris. — Le plus commun est le cône de débris, montagne creuse, à profil souvent parfaitement géométrique, qui s'élève au-dessus du cratère.

Ce cône est, comme l'indique son nom, fait par l'accumulation de projections de toutes grosseurs, cendres, bombes, débris rocheux du sous-sol, blocs de laves lancés et retombés autour du cratère.

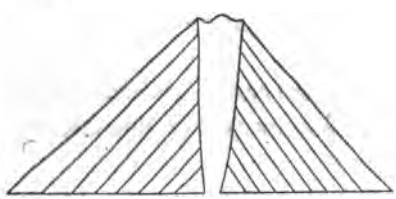


Fig. 18

L'inclinaison à l'extérieur varie de 30 à 45° ; à l'intérieur, elle est souvent voisine de 75 à 80° (fig. 18).

La masse présente une stratification grossière de lits alternés de cendres, de scories, de débris plus gros, suivant l'ordre de sortie du cratère des différents matériaux projetés.

Par leur constitution même, ces cônes ne présentent qu'une faible résistance aux agents d'érosion.

Les pluies creusent sur leurs flancs de profonds ravins qui vont en s'élargissant du sommet à la base et où s'accumulent les débris entraînés. Mais une nouvelle éruption pourra combler ces inégalités de surface. Au *Sœmbing*, à Java, la profondeur de ces ravins atteint 200 mètres.

173. — Lorsque les projections tombent assez loin du cratère pour que les éboulements ne retournent pas à la

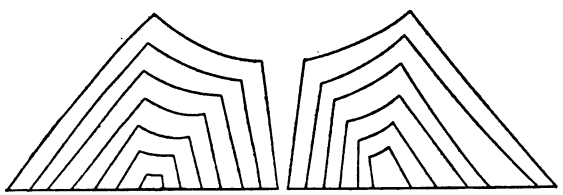


Fig. 19

cheminée, le cône présente une double pente (fig. 19). Le talus intérieur est formé par les éboulements de la crête.

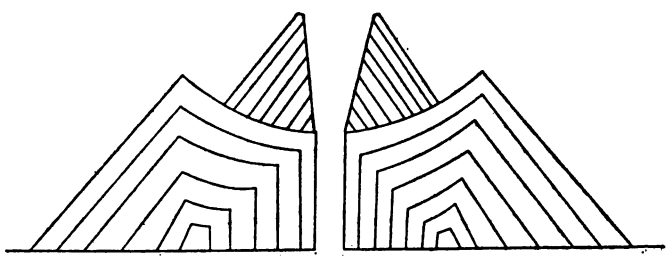


Fig. 20

174. — Au cours d'une éruption ultérieure, un cône parasite pourra s'élever à l'intérieur du premier (fig. 20 (voir n° **169**).

175. — La formation de ces cônes est très rapide ; ainsi, en 1874, à l'Etna, quelques heures suffirent à l'érection d'un cône principal et de 35 cônes secondaires dont un avait 25 mètres de hauteur ; on a estimé à 1.350.000 mètres cubes le volume de ces 36 cônes.

En 1865, sur les flancs du même volcan, plusieurs cônes de 100 mètres de hauteur s'élevèrent en 3 jours.

176. Cônes mixtes. — L'intrusion des laves entre les strates des cônes de débris, en formation, se produit fréquemment et donne au massif une grande solidité. Dans ce cas, on trouve successivement, en partant de l'axe : un

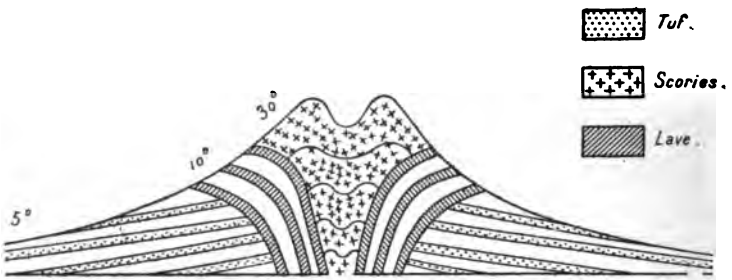


Fig. 21. — Cône mixte, type Nouvelle-Zélande.

cône de débris à pente de 30 à 40°, une succession de couches de laves et de débris à pente de 10 à 20° et enfin des couches stratifiées et à pente faible, faites des parties les plus ténues (fig. 21).

Le *Rangitoto*, en Nouvelle-Zélande, et le grand cône terminal de l'*Etna* appartiennent à cette catégorie.

177. Cônes de tufs. — De couleur jaune par suite de l'hydratation de l'oxyde de fer, les nappes sont faites de cendres, de débris, de projections, de pierres qui ont été

brassés dans l'eau et ont ensuite séché. Leur inclinaison varie de 15 à 30°.

178. Cônes de cendres. — Des projections presque exclusivement formées de cendres peuvent former des cônes très pointus que l'on reconnaît facilement à l'allongement des flancs dans le sens des vents dominants.

179. — La couleur des cônes de débris est rouge au début, mais la végétation qui s'y attache la fait passer au noir.

Les cendres soustraites à l'action de l'air sont blanches ou noires mais elles rougissent sous l'action de l'oxygène atmosphérique.

180. Dimensions des cônes volcaniques célèbres. — Les cônes de débris s'élèvent parfois à des hauteurs prodigieuses, et voici, pour les plus célèbres, la hauteur du sommet au-dessus du pied :

Cotopaxi, Mexique,	hauteur	3.000	mètres,	inclinaison	40°.
Sœmbing, Java	»	3.600	»	»	37°.
Vulcano, Lipari	»	800	»		
Erèbe, au pôle austral	»	3.900	»		
Vésuve, Italie	»	1.500	»		
Etna, Sicile	»	3.300	»		

Klioutchevskoï, au Kamchatka, le plus actif des volcans actuels, hauteur 5.000 mètres, périmètre à la base 330 kilomètres.

Kilimandjaro, en Afrique, hauteur 6.130 mètres, périmètre à la base 350 kilomètres.

181. Dômes d'intumescence. — La poussée des laves en ignition contre un point de l'écorce, sous l'action

des gaz, peut, si elle est lente et sans à coups, incurver les strates et provoquer la formation d'un dôme qui est dit d'*intumescence*, comme M. Gilbert l'a signalé au mont Hiller et au mont Helsworth, dans l'Utah, où les intrusions laviques entre les strates sédimentaires de la montagne sont nombreuses (fig. 22).

Au mont Hiller, les strates du sommet ont été enlevées et laissent voir le trachyte. Au mont Helsworth on ne voit que des filons de trachyte ; les strates sédimentaires sont horizontales au sommet et à la base et inclinées à 45° sur les flancs. La hauteur respective de ces deux montagnes est de 2.000 mètres et de 1.500 mètres.

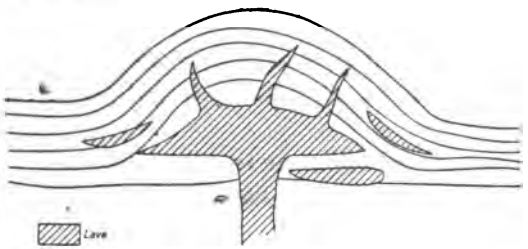


Fig. 22

Bien que la théorie des dômes d'intumescence — dernier vestige de celle des cratères de soulèvement abandonnée par tous aujourd'hui — soit encore discutée, M. de Lapparent, s'appuyant sur le mode de formation du cratère d'effondrement de Santorin (voir n° **166**), croit à sa possibilité.

Du reste, des observations faites sur tous les points du globe, il résulte que l'on ne connaît aucun volcan sur les flancs duquel on retrouve les couches du sol environnant; autrement dit la formation d'un volcan ne redresse pas les couches du sol autour du cratère.

182. Couronnes. — Certains cônes volcaniques sont entourés, à quelque distance, par une sorte de rempart fait de débris, de cendres, de lave présentant une pente

douce vers l'extérieur, raide vers l'intérieur, et une hauteur pouvant atteindre 800 à 900 mètres.

On attribue la formation des couronnes à l'explosion ou à l'effondrement d'un ancien cône volcanique sur les fondations duquel le cône en activité de nos jours s'est élevé.

CHAPITRE VII

—

ÉRUPTIONS DE BOUES — DÉLUGES DE BOUES

183. — L'eau dont la présence apparaît à toutes les périodes de l'éruption, s'est montrée sous forme de vapeur à une température plus ou moins élevée et partant sous une pression qui, pour être variable suivant les conditions, n'en est pas moins toujours très forte. Mais si l'on conçoit, ou plutôt si l'esprit admet le mélange possible de vapeur d'eau et de laves en fusion, dans le creuset volcanique, il ne s'explique pas la cohabitation d'eau liquide et de laves dans les flancs d'un volcan.

Le fait est pourtant exact et les exemples sont nombreux de volcans ayant rejeté par la même ouverture de l'eau liquide et des matières incandescentes.

Tout d'abord, comment se produit le phénomène?

Après les signes précurseurs du réveil d'un volcan, tremblements de terre, modification du régime des eaux de surface, une explosion se produit qui déchire la montagne, fait sauter le culot d'un vieux cratère; puis, après qu'une masse plus ou moins considérable de cendres, de débris aura été projetée, apparaît un fleuve de boue délayée dans de l'eau qui descend du cratère, de la fissure, comme le ferait une coulée de laves en ignition.

Les fumerolles fonctionnent comme dans le cas ordinaire.

Faisons observer que, presque toujours, ces éruptions boueuses ont lieu sur des volcans qui ne rejettent plus de laves proprement dites et que ces dernières, quand elles étaient épanchées, appartenaient à la catégorie des laves acides ; cette considération explique l'explosion brutale du cratère et, en même temps, la soudaineté et la violence des déluges de boues.

La boue, le plus souvent à la température de l'ébullition, est acide et elle descend du cratère ou des fissures latérales, renversant tout sur son passage et s'étalant dans la plaine, au pied du cône.

La vitesse de translation des boues est, toutes autres conditions égales, presque toujours supérieure à celle des laves ; elle peut facilement atteindre 36 kilomètres à l'heure, soit 10 mètres à la seconde.

184. — S'agit-il d'une véritable éruption de boue ? Le produit a-t-il été élaboré dans les profondeurs du sol ?

A l'heure actuelle, on ne possède aucune certitude sur l'origine du magma, mais de l'avis de presque tous, et en particulier de Fuchs, de de Lapparent et de Junghuhn qui, particulièrement, étudia de près les éruptions boueuses de Java, — la formation de la boue dans l'intérieur du cône serait un accident, et aurait pour cause la rupture d'un réservoir d'eau soit extérieur, dans le cas des cratères lacs, soit intérieur. L'eau se mélangerait aux cendres, aux débris de la cheminée et de la surface, emprunterait à la colonne de gaz ses éléments acides, solubles et formerait ainsi la *boue* que les gaz chassent devant eux et forcent à sortir.

Cette hypothèse est basée sur ce fait que les éruptions boueuses n'ont été constatées que sur des volcans réputés comme possédant un lac dans le cratère ou sur les flancs

et que, dans les boues fréquemment rejetées par les volcans des Andes, on a trouvé des poissons et des organismes inconnus dans la région — qu'enfin la masse de boue rejetée est, autant qu'on l'a pu constater, proportionnelle à celle de l'eau du lac.

185. — L'action dévastatrice des éruptions de boues est au moins aussi grande que celle des laves.

En Islande où, pour certains volcans du moins, la boue semble avoir succédé aux laves, notamment au *Scaptar Jokull* le phénomène est grandiose (voir n° **249**) et si le nombre des victimes est parfois des plus restreints, cela tient à ce que la presque totalité de la population habite des régions trop éloignées des centres éruptifs.

A Java, les éruptions boueuses ont une intensité et une soudaineté extraordinaires : les laves font presque toujours défaut dans cette région.

La coulée boueuse du *Papandajan*, en **1772**, mesurait 12 kilomètres de longueur et 4 kilomètres de largeur avec une profondeur atteignant par endroits 15 et 18 mètres.

En **1822**, le *Galvengœng* engloutit plus de 10.000 personnes sous un fleuve boueux.

Le mont *Pelé*, à la Martinique, a rejeté, en **1902**, des boues brûlantes et acides, à différentes reprises et dans diverses directions.

186. — L'alternance des boues avec les laves, au cours de nombreuses éruptions, s'explique par l'origine du magma que nous avons indiquée.

187. Déluges de boues. — A différentes reprises, on a constaté, au début de l'éruption de certains volcans à cône très élevé, qu'un fleuve boueux descendait du cratère ; et parfois, qu'au cours de la crise, le phénomène se reproduisait.

Il ne s'agit plus ici de la projection d'une masse de boues, mais simplement d'un écoulement, et l'on explique le fait, au début de l'éruption, par la fusion des neiges qui recouvrent le cône, et pendant son cours, par l'accumulation dans le sol des pluies torrentielles qui généralement accompagnent les éruptions.

Dans l'un et l'autre cas, l'eau imprègne les cendres, les lapilli, le sol même, et, à un moment donné, le magma s'ébranle et descend des hauteurs avec une vitesse vertigineuse, charriant des blocs de rocher qu'il déposera sur son parcours comme un glacier abandonne des blocs erratiques, des blocs de glace, des monticules de neige.

Les déluges de boues provoquent des désastres qui peuvent être comparés à ceux des éruptions boueuses, par l'importance de la masse en mouvement.

En 1877, au cours de l'éruption du *Cotopaxi*, le courant boueux charriait des rochers, des glaçons, de la neige ; il combla des ravins de 60 mètres de hauteur, et arriva au pied du volcan avec une vitesse de 36 kilomètres à l'heure. Le pays fut recouvert d'une couche de boue jusqu'à 12 kilomètres du volcan et 300 personnes périrent. On a pu constater que des blocs de glace avaient été transportés à plus de 80 kilomètres de la cime de la montagne.

CHAPITRE VIII

—

LES VOLCANS SOUS-MARINS

188. — Le phénomène volcanique ne se manifeste pas seulement sur la terre ferme ; il se présente aussi sous les flots de la mer, avec l'allure subaérienne que nous lui connaissons.

Le résultat final diffère, néanmoins, de ce que nous avons vu jusqu'ici, en raison du contact immédiat des gaz et des laves avec l'eau qui agit en même temps comme agent mécanique destructeur du cône et comme agent chimique sur les émanations des fumerolles.

Naturellement, en raison de l'immensité recouverte par les mers, bien des éruptions ont lieu qui restent ignorées, jusqu'au jour où un navigateur rencontre une île qui ne figure sur aucune carte, île généralement stérile ou qu'il ne retrouve plus un îlôt, un récif que toutes les cartes marines mentionnent. En outre, vu l'extrême profondeur des mers en certains points, — près de 10 kilomètres — des éruptions peuvent se produire dans ces fosses, des montagnes de laves jaillir du fond de l'Océan, sans que nul ne le voit. Et ce qui prouve que les éruptions de cette catégorie sont nombreuses, c'est que, *très souvent*, les navires ressentent subitement, par un temps calme, une secousse

brusque, comme s'ils touchaient un écueil ; c'est le heurt contre la coque du navire, de l'onde d'ébranlement des eaux qui se propage tout autour du centre d'explosion à des distances souvent considérables.

Le volcanisme sous-marin se manifeste à nos yeux par des dégagements gazeux souvent à haute température qui sortent des flots et par l'apparition ou la disparition de récifs d'étendue variable, quelquefois assez grande pour mériter le nom d'île.

Les dégagements gazeux que l'on a observés correspondaient, pour certains, à la colonne de fumée de nos éruptions continentales, ils accompagnaient une émission de laves, et pour d'autres aux fumerolles contemporaines ou consécutives à la phase aiguë du phénomène.

189. — Certaines directions, dans les mers, sont privilégiées, et chaque fois on a remarqué qu'elles représentaient un tronçon absent d'une chaîne de montagnes, d'un plissement continental sur lequel des bouches volcaniques ont été relevées : telles sont la direction Sicile-Pantellaria — Athènes-Santorin — axe des îles Aléoutiennes — axe des îles Kouriles — axe orographique de l'Islande NE-SO.

Le cône volcanique, quand il émerge, est dépourvu de matériaux légers, cendres, lapilli que les eaux marines entraînent dans leur bouillonnement au fur et à mesure qu'ils se forment. Il est constitué de scories, de blocs de laves que les vagues de la mer attaqueront, désagrègeront et disperseront peu à peu.

La durée de ces cônes est relativement courte.

Le récif volcanique survivra, au contraire, si, du cône émergé au-dessus des flots, des laves s'épanchent tout autour du cratère qui, recouvrant les blocs et s'introduisant dans les joints, font l'office de ciment.

De nombreuses îles habitées sont dans ce cas.

190. — Des *fumerolles sous-marines* consécutives à une éruption se rencontrent en différents points du globe, aux *Antilles*, aux *Açores*, et en Méditerranée près des *îles Lipari*. Là, entre les îles *Lisca-Nera* et *Lisca-Biancha*, le fond de la mer est fait de roches poreuses, à 8 mètres seulement de la surface. Les eaux de la Méditerranée sont constamment agitées et paraissent en ébullition par l'arrivée de grosses bulles de gaz d'acide carbonique et d'acide sulfhydrique qui viennent crever à la surface.

TROISIÈME PARTIE

—

LES CAUSES DU VOLCANISME

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

191. — Si l'on jette les yeux sur une planisphère portant l'indication des volcans éteints ou en activité, subaériens ou sous-marins, on constate que ceux-ci sont tous localisés sur le bourrelet qui entoure les grandes dépressions immergées ou non et que leurs cratères sont situés sur le versant le plus abrupt.

Il semble donc exister une corrélation entre l'existence d'une dépression et la formation de volcans sur ses bords (voir la carte).

Les volcans de la Cordillère des Andes et ceux des Monts Célestes au Thibet sont des exemples typiques, les premiers, dans le cas d'une dépression occupée par les eaux — le Pacifique — et les seconds dans celui d'une dépression asséchée — le grand désert de Gobi.

D'autre part, si l'on consulte un tableau chronologique des cataclysmes sismiques, on voit les mêmes noms de localités se répéter, comme s'il existait des régions où l'acti-

vité volcanique se manifeste de préférence à d'autres (voir n° **284**).

C'est donc, qu'en certains points, les conditions de structure du globe se prêtent plus facilement à l'issue des déjections volcaniques.

Nous sommes donc ainsi amenés, par la simple constatation des faits, à rechercher dans l'architecture même du globe l'une au moins des causes du volcanisme.

CHAPITRE PREMIER

—

HISTOIRE DE LA FORMATION DE L'ÉCORCE TERRESTRE THÉORIE DES REFOULEMENTS ET DES EFFONDREMENTS FORMATION DES PLIS LOCALISATION DES VOLCANS LES TROIS ZONES VOLCANIQUES

---

192. — Suivant l'hypothèse de Laplace, lorsque la *Nébuleuse* se fut résolue en ces fragments qui forment aujourd'hui le Soleil, les planètes et leurs satellites, la Terre continua son mouvement de rotation et ses particules tendirent à se répartir suivant leur densité autour de l'axe de rotation, les plus lourdes au centre et les plus légères à la périphérie.

Or, c'est précisément dans cet ordre de classement que les éléments nous apparaissent, les roches éruptives ayant une densité d'autant plus grande qu'elles proviennent d'une émission plus récente. Cette considération peut être tenue pour suffisante à la justification de la fluidité de la Terre à l'origine (voir n° **45**).

Notre astre, soleil aujourd'hui éteint, était, comme conséquence de cet état de choses, noyé dans une atmosphère portée à une haute température et formée en grande partie de vapeur d'eau et de vapeurs salines, chlorées et fluorées.

On évalue à 250 kilogrammes par centimètre carré, la pression exercée sur la Terre par l'atmosphère originelle.

En raison de ses faibles dimensions, le Globe vécut une vie stellaire relativement courte ; il se refroidit, s'éteignit et passa par une phase intermédiaire entre l'état fluide et celui d'une masse en fusion recouverte d'une croute solidifiée, caractéristique de l'époque archéenne, première étape de l'histoire de la Terre.

Cette solidification de la surface se fit par à coups : les premiers îlots émergés présentant — c'est un fait d'expérience — une densité plus grande à l'état solide qu'à l'état liquide, s'enfoncèrent jusqu'à ce qu'ils eussent rencontré une couche liquide de densité égale à la leur.

Mais, le refroidissement se poursuivant, d'autres plages solidifiées émergèrent qui finirent par se souder entre elles et former autour du globe une couche solide continue. En même temps, la température de l'atmosphère s'abaissant, des précipitations aqueuses et salines se firent : des réactions chimiques que nous ignorons s'exercèrent sous l'influence de la haute pression qui régnait, entre les produits des précipitations atmosphériques — et les éléments des roches primordiales d'une part et ceux des zones encore fluides, d'autre part —, portés à une température élevée, c'est vrai, mais néanmoins inférieure à celle que conçoit l'esprit au premier abord.

193. — Dès lors, notre globe a pris la forme ovoïde que nous lui connaissons et il continuera à se refroidir, mais lentement, grâce à son enveloppe solide, mauvaise conductrice de la chaleur. Ainsi que nous l'avons indiqué, une masse de lave peut conserver l'état liquide pendant des années quand elle est recouverte d'une croûte de quelques décimètres d'épaisseur, la température de cette dernière restant voisine de 70 à 80° C (voir n° **57**).

Mais en même temps, il se *contractera*, ses dimensions, son diamètre si l'on peut s'exprimer ainsi, diminueront, et, par endroits, l'enveloppe solide manquera de points d'appui et deviendra le siège de phénomènes complexes qui continuent à se manifester de nos jours (voir n° **195**) souvent accompagnés de crises violentes, au nombre desquelles figurent les paroxysmes volcaniques.

On estime, qu'aujourd'hui, l'épaisseur moyenne de l'écorce est d'environ 70 kilomètres et l'opinion est à peu près unanime sur la fluidité du noyau interne.

194. — Les vides produits entre le noyau fluide et le soubassement de la croûte solidifiée, joignant leur action au mouvement de contraction propre de l'écorce, par refroi-

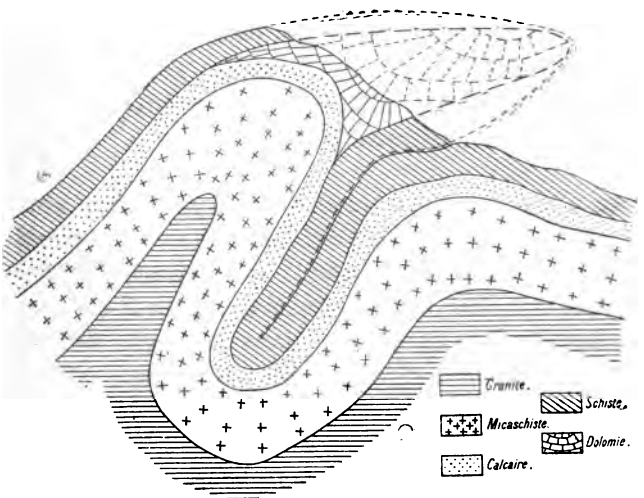


Fig. 23

dissement, ont amené celle-ci à se rider, à se plisser, tout comme se ride et se plisse l'enveloppe d'un ballon de caoutchouc par suite de la déperdition de son gaz.

La puissance des assises, la dureté des roches constituantes n'ont pu former obstacle à cette loi générale dont les effets sont particulièrement visibles dans les pays de montagnes (fig. 23), où, plus fréquemment qu'ailleurs, des flancs escarpés et dénudés offrent à l'œil une vue d'ensemble de leurs assises constituantes, et permettent d'en suivre l'allure tourmentée, sur de grandes distances.

De ce mouvement sont résultés les creux océaniques et les reliefs continentaux et, sur ces derniers, les chaînes de montagnes, d'une part, et les vallées, d'autre part.

195. — Insensiblement, ce mouvement se produit de nos jours et c'est d'une façon précise et indiscutable que l'on constate un *affaissement* lent mais continu en : Pays-Bas, Finistère, Bretagne, Normandie, Provence, Scandinavie du sud, Angleterre, Italie, Chine du sud, Australie du nord, Pacifique du nord, et un *relèvement* en : Flandre française, Poitou, Aunis, Gironde, Allemagne du nord, Chine du nord, Australie du sud, Pacifique du sud.

196. — La surrection des chaînes de montagne avait été tout d'abord expliquée par l'intrusion de masses éruptives, mais, à part quelques cas tout à fait exceptionnels, cette explication doit être rejetée. Partout ailleurs, on constate que la modification apportée à l'écorce a touché de la même manière la roche éruptive sous jacente, et les dépôts qui la recouvrent.

197. — L'hypothèse des *Refoulements* et des *Effondrements* consécutifs, développée par Neumayer et Suess [1] rend mieux compte que les autres de la formation du relief actuel ainsi que des accidents et particularités qu'il présente.

[1] Suess. — Antlitz der Erde.

L'écorce du globe ne présentait pas, dès qu'elle fut constituée, une composition homogène et une égale résistance mécanique dans toute son étendue ; des parties faibles existaient et le mouvement de rotation du globe venait ajouter son influence.

Ces lignes de faible résistance devenaient l'axe d'une dépression qui s'accentuait, dans la suite, en même temps que la pression latérale, cause de cette déformation, continuant à refouler la matière, surélevait au moins un des bords de la dépression où naissait une chaîne de montagnes.

Les précipitations atmosphériques continuant à se produire au fur et à mesure que la température s'abaissait, s'accumulaient dans les dépressions, corrodaient le fond et ultérieurement déposaient ces assises sédimentaires si puissantes et que l'on ne trouve que sur les bords et dans l'intérieur des massifs montagneux.

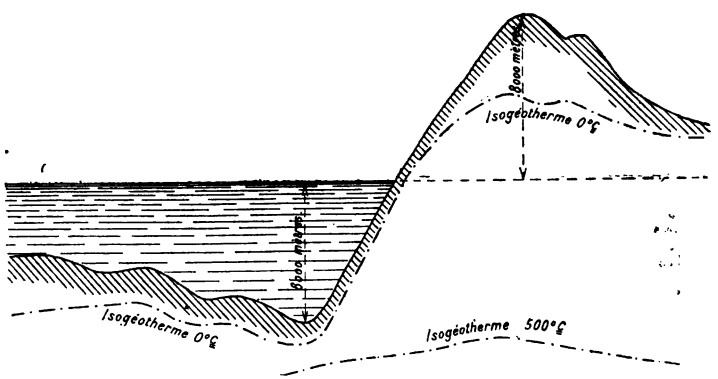


Fig. 24

Sous la continuation de l'effort de refoulement, la dépression s'accentue, la première chaîne de montagnes se surélève tandis qu'un ridement parallèle se forme dans la dépression, intéressant le soubassement et les couches qui le recouvrent.

Dans l'une et l'autre de ces chaînes de montagnes, les couches vont être plissées, contournées, d'autant plus que l'effort venant du large aura été plus intense et, chose facile à concevoir, le versant tourné vers le large sera plus raide que l'autre, de sorte que dans le cas le plus simple, la dépression et la chaîne montagneuse montreront le profil ci-dessus (fig. 24).

198. — Les choses continueront de la sorte, mais souvent, entre temps, une des chaînes de montagnes sera plus ou moins arrasée par les eaux puis recouverte par la chaîne immédiatement postérieure que le refoulement fera *couler* et *renverser* sur elle, pendant que les dépôts sédimentaires continueront à se former dans la dépression.

La figure 23 représente schématiquement l'ensemble du phénomène dont nous venons d'indiquer les grandes lignes.

Les points d'inflexion des couches sont autant de lignes de moindre résistance et quand la limite d'élasticité est dépassée, il y a rupture de la couche avec formation d'une faille dont la lèvre surélevée *regarde* dans la direction de l'effort; en outre, il peut y avoir rejet, structure imbriquée, chevauchement des paquets et des plis (fig. 23).

199. — Mais en même temps que les failles se produisent, certains des paquets ainsi découpés s'abaissent en provoquant un *effondrement* (la formation de la fosse méditerranéenne est consécutive à la surrection des Alpes) tandis que d'autres paquets restant en place, formeront autant d'îlots exhaussés, de *butoirs* contre lesquels les masses viendront se heurter au cours d'un refoulement ultérieur.

Suess désigne ces butoirs sous le nom de *Horst*.

200. — Une autre raison qui milite en faveur de la faible résistance relative des inflexions du soubassement montagneux résulte de la distribution des *isogéothermes*.

On sait que l'on désigne ainsi les surfaces d'égale température interne dont l'allure reflète celle du relief extérieur, et que sous le nom de *degré géothermique* en un point du globe, on spécifie la profondeur dont il faut descendre pour constater une augmentation de température de 1° C, celle-ci s'accroissant au fur et à mesure que l'on s'enfonce plus profondément.

En pays plat, le degré géothermique est en moyenne de 35 mètres ; il est beaucoup plus grand en pays montagneux et atteint 300 mètres aux altitudes voisines de 3 500 mètres.

Ceci posé, si l'on considère une dépression océanique de de 8 000 mètres de profondeur [1] dont le fond est à la température reconnue de 0° C et sur son pourtour un massif montagneux de 8 000 mètres d'altitude (Himalaya) on calculera aisément que l'isogéotherme sous la montagne, à la cote du fond de la dépression, soit à — 8 000 mètres, marque environ + 500° C, bien qu'il voisine avec l'isogéotherme 0° C qui passe à la même cote mais au fond de la mer.

Les roches de la cote — 8 000, sous la montagne, présenteront, en raison de leur température, une moindre résistance mécanique que celle du fond de la mer, et posséderont, au contact de la couche à 0° C, un axe de rupture (fig. 24).

Le grand axe de la dépression déterminant la direction des chaînes de montagnes, celle-ci transversale à la direction de l'effort de refoulement, les chaînes successivement formées sur le même bord d'une dépression devront être parallèles à moins qu'un obstacle ne les fasse dévier : les chaînes formées d'assises flexibles, en calcaire par exemple, présenteront des plissements aigus (Alpes) tandis que celles provenant d'un puissant massif granitique offriront des ondulations de grande amplitude (Morvan).

[1] Certaines dépressions oc aniques atteignent plus de 9 000 mètres (voir la figure 25).

201. — La tendance constante de l'écorce à se plisser, doit entraîner une compression des roches, et un observateur, M. Niles, l'a contrôlé dans une carrière de gneiss au Massachussets près de *Mouson* : il a vu des blocs se bomber pendant qu'on les détachait, des fissures se produire subitement et enfin il aurait constaté, après sa chute, un élargissement de 4 centimètres d'un bloc mesurant 10 × 3,50 × 1.

202. — Les considérations qni précèdent ont conduit Elie de Beaumont à la création de son système de coordination des plissements par un réseau pentagonal et plus tard Lowthian Green (1) et Michel Lévy (2) à la supposition d'un système tétraédrique.

Cette dernière formule semble devoir mieux s'appliquer que la précédente. Le tétraèdre représente en effet la déformation d'une sphère considérée comme formée par la juxtaposition d'anneaux cylindriques, sous l'action de pressions radiales exercées de l'extérieur ; en outre, elle donne l'explication du rejet à l'est des extrémités sud des continents sous l'influence de la rotation de la terre.

203. — Suivant quelle loi la tension des couches est-elle distribuée le long d'un rayon du globe ? La seule chose que nous sachions par l'expérience c'est que les effets de plissement les plus énergiques se sont produits au voisinage de la surface au lieu d'atteindre leur maximum dans les profondeurs.

Cette anomalie apparente a reçu une explication de MM. Davison et Darwin (3) que nous ne pouvons vérifier, il est vrai, mais qui explique assez bien certaines particularités des ébranlements sismiques.

(1) *Vestiges of the molten globe* 1873.
(2) *Bull. S. G. Fr.* (3) XXVI, p. 105.
(3) *Geol. Magazine*, mai 1889.

Adoptant l'hypothèse de lord Kelvin, de l'uniformité de la température à partir d'une certaine profondeur — 300 kilomètres — et de sa constance à la surface extérieure, — Davison et Darwin partagent l'écorce en un certain nombre de couches concentriques; celle qui est en contact avec le noyau fluide perd de la chaleur — en vertu du refroidissement superficiel — et, ne pouvant se contracter, elle se fissure. La couche au-dessus subit les mêmes influences, mais avec une plus grande intensité, elle se distend, se fissure et ainsi de suite. L'intensité du phénomène croît à partir du centre, passe par un maximum et décroît puisqu'elle est nulle à la surface, où la croûte extérieure, mal soutenue, subit de *grandes pressions latérales* dont l'effet, suivant les auteurs, ne se ferait plus sentir à une profondeur supérieure à 8 kilomètres.

On aurait là l'explication de la faible profondeur des centres d'ébranlement sismique.

204. — L'action de refoulement latéral, avec ses conséquences visibles à la surface du sol : failles, plissements, effondrements, s'est manifestée au fond des océans de la même manière que sur les continents et, par suite, y développa les mêmes accidents.

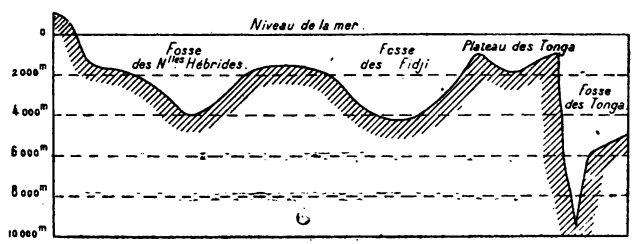


Fig. 25. — Coupe du fond du Pacifique par le travers du plateau des Tonga.

La figure 25 représente la coupe du groupe volcanique des îles *Tonga* et *Fidji*, dans le Pacifique.

Là, encore, on constate que les bouches volcaniques sont sur des versants abrupts et au bord de grandes dépressions.

205. — En résumé, du fait du plissement (fig. 26), la lave comprimée tend à monter dans les failles *f f* qui s'ouvrent dans une des branches du pli, et les bouches volcaniques

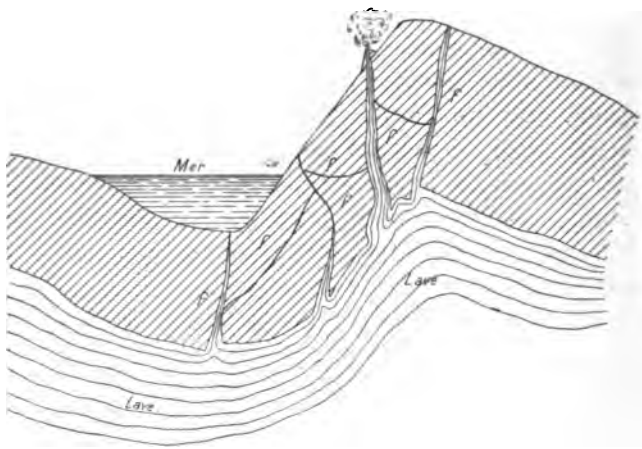


Fig. 26

seront conséquemment sur ce versant, mais quelquefois cependant à l'origine du versant en pente douce, où peuvent aboutir des failles égarées.

206. — Nous croyons avoir bien démontré que les grandes chaînes émergées ou non ont leurs versants dyssymétriques dont le plus abrupt plonge vers une grande dépression généralement couverte par les mers ; et que les inflexions du sol sont des lignes de moindre résistance de l'écorce, d'autant plus faibles que la hauteur de la chaîne est plus élevée au-dessus du fond de la dépression, et que cette faiblesse est accrue dans les courbes d'inflexion qui sont au pied des grandes chaînes baignées par les mers.

207. — Les bouches volcaniques sont donc situées au voisinage des lignes de faible résistance de l'écorce du globe.

A quelle cause attribuer le paroxysme volcanique, c'est-à-dire la production de l'éruption après une période de repos plus ou moins longue? C'est à sa découverte que tendent les recherches dont nous exposerons l'histoire.

208. Les trois zônes volcaniques. — Si l'on jette un coup d'œil sur la planisphère, on voit que les trois grandes dépressions marines du globe, Atlantique, Pacifique, Méditerranée sont cernées par une chaîne de montagnes jalonnée de volcans (*Voir la carte*).

Zône de l'Atlantique. — Elle comprend les volcans des îles Jean Mayen, Islande, Açores, Canaries, du Cap Vert, africains continentaux de Cameroun, des îles Fernando Po, Saint-Thomas, Tristan da Cunha, des Antilles.

Zône du Pacifique. — C'est la plus importante avec les volcans de la Nouvelle-Zélande, des îles Sous le Vent, de la Sonde, Philippines, Molluques, du Japon, Kouriles, Aléoutiennes, des Sierras de l'Amérique du Nord, des Montagnes Rocheuses, de la Cordillière des Andes, des terres du Pôle Sud (Erebus et Terror).

Zône de l'Océan Indien. — Sur sa ceinture on trouve les volcans des îles Crozel, Saint-Paul, Amsterdam, de la Réunion, de Madagascar, des Comores, de Barren, les volcans continentaux africains, Kenia, Kilimandjaro, Ngaï, Teleki, d'Aden.

Ces trois zônes sont reliées entre elles par des trainées volcaniques : la zône de l'Atlantique à celle du Pacifique par les îles volcaniques des Antilles, des Shettland et Sandwich du Sud ; celle du Pacifique à la zône de l'Océan Indien par l'île Barren située sur le prolongement de Sumatra.

Zône de la Méditerranée. — Elle comprend les volcans

éteints, en partie, de la péninsule Ibérique, de l'Auvergne, de l'Eiffel, de l'Italie, de la Grèce, de l'Arménie, du Golfe Persique; cette zône se relie à celle du Pacifique par la ligne des volcans éteints de l'Indo-Chine et par les traînées volcaniques du Thibet et du Kamtschatka.

209. Nœud des Antilles. — L'archipel des Antilles occupe une situation particulière ; il est à l'intersection des zônes volcaniques de l'Océan Pacifique et de l'Océan Atlantique et baigné par la mer des Caraïbes dont la profondeur atteint très rapidement 6 000 mètres (fig. 27).

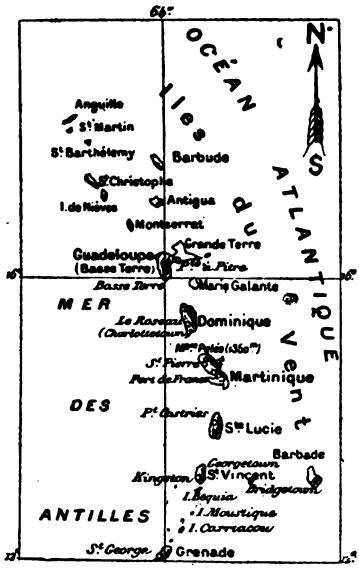


Fig. 27

Se trouvant à l'intersection de deux des grandes fractures principales du globe, la région se trouve dans une situation très critique et sera le siège de phénomènes volcaniques de quelque côté — Atlantique ou Pacifique — que se produise la perturbation originelle.

Du reste les tremblements de terre qui se produisent au Guatemala (zône du Pacifique) ont toujours leur répercussion aux Antilles et réciproquement. Cette année encore, on a pu le constater.

CHAPITRE II

—

EXPOSÉ DES PRINCIPALES THÉORIES DES CAUSES DU VOLCANISME

210. Théorie de M. de Lapparent. — Le premier point qu'examine ce savant géologue est l'existence d'une masse ignée continue en dessous de l'écorce solide dont il évalue l'épaisseur à 60 kilomètres environ [1].

Les roches liquéfiées, la lave pour l'appeler par son nom, n'existent pas à l'état de lagunes isolées au-dessus desquelles les volcans se sont ultérieurement formés ; elles ne forment pas non plus des trainées sous les grands axes volcaniques, parce que tout le fond du Pacifique étant formé de débris volcaniques, il n'est pas logique d'admettre que en dessous de l'espace immense recouvert par cet océan, existe un lac de lave non moins spacieux et qu'à droite et à gauche il n'y ait plus que des lagunes.

Enfin le phénomène volcanique est le même partout, et souvent les produits épanchés par deux cratères fort éloignés sont identiques : on trouve les mêmes produits volcaniques en Islande et dans les îles de la Sonde, et les ryolithes du Parc National sont les mêmes que celles de la Nouvelle Zélande.

(1) De Lapparent. — *Traité de Géologie*, pages 528 à 542.

Pourquoi des lagunes aussi éloignées l'une de l'autre donneraient-elles des produits similaires quand des cratères voisins comme l'Etna, le Vésuve, le Stromboli, Santorin, rejettent des produits si différents?

M. de Lapparent en trouve l'explication dans ce fait que les laves montant par pression dans les failles des plis (voir n° **205** et fig. 26) l'emprunt au bain se fait à des niveaux différents. Et comme ce bain est formé de produits liquéfiés en un magma et rangés par ordre de densités croissantes, les laves seront acides si l'emprunt est fait à la partie supérieure, et basiques (voir n° **45**) dans le cas contraire. En outre, au cours de sa circulation dans les failles, la lave fond, attaque les parois de la cheminée, et suivant la composition chimique de ces dernières, des corps déterminés prendront naissance qui différencieront la lave rejetée de celle qu'émet une bouche voisine percée dans un sol de nature différente.

A l'appui de cette conception, il cite les volcans des îles de la Sonde, du Japon, et ajoutons des Antilles qui, baignés à leur pied par une mer très profonde n'ont jamais rejeté que des laves acides — et ceux de l'Afrique centrale dont les anciennes émissions acides ont fait place à des laves aujourd'hui basiques.

Les gaz dégagés tant par le cratère que par les fumerolles auraient été occlus dans la lave, aux premières heures de la vie de notre Globe, sous l'effet d'une pression atmosphérique que M. de Lapparent évalue à 250 atmosphères. Et lors des éruptions, les dégagements gazeux se feraient par évaporation, par rochage.

Les bouillonnements du Kilauea s'effectuent sous l'influence d'une pression statique et appuieraient cette doctrine.

La cause du paroxysme serait une modification dans l'architecture de l'écorce, consécutive à un plissement, d'où résulterait une augmentation de la pression exercée par l'écorce sur la lave et sur les gaz tenus en dissolution et

qui tendent à s'échapper. M. de Lapparent cite à l'appui que les éruptions d'un volcan sont généralement d'autant plus violentes qu'elles succèdent à une période de repos plus longue pendant laquelle les gaz se sont accumulés et ont vu leur pression augmenter. En outre, on a cru constater un avancement du foyer volcanique dans certaines régions le long de la ligne de fracture, ce qui, par analogie avec le même phénomène au cours des séismes successifs d'une même région, tendrait à faire rentrer dans la même cause le séisme et le volcanisme.

Enfin, les gaz réducteurs existent dans le magma interne et ne résultent pas de réactions ultérieures : la formation des filons métallifères dans un milieu réducteur ne serait qu'une des conséquences de cet état de choses qui, né avec notre globe, subsisterait encore de nos jours et se manifesterait par les dégagements d'hydrocarbures des fumerolles.

211. Théorie de M. Fouqué. — Celle-ci ne diffère de celle de M. de Lapparent que par l'hypothèse explicative des paroxysmes.

Remarquant avec juste raison la proximité constante des volcans et des océans, M. Fouqué admet que l'eau de mer s'infiltrant par une faille, arrive au contact de la lave et se volatilise brusquement. Une quantité énorme de vapeur d'eau prend naissance subitement à une pression très élevée, et provoque la rupture du sol, la production des cratères et des fissures adventives.

Conséquemment, les vapeurs salines dégagées par les fumerolles auraient emprunté leurs éléments à l'eau de mer.

M. Fouqué appuie son hypothèse sur les faits suivants :

La vapeur d'eau est l'élément consécutif principal de la colonne de fumée et des fumerolles, à ce point que, en 1865, en cent jours, l'*Etna* rejeta 2 millions de mètres cubes

d'eau. Une telle quantité de liquide ne saurait préexister dans la lave, elle doit venir d'une source extérieure, et celle-ci est toute indiquée : les Mers.

Bien que formés des mêmes éléments constitutifs, les sels de l'eau de mer ne sont pas, à part le chlorure de sodium, les mêmes que ceux des fumerolles.

Mais, M. Fouqué a obtenu les sels des fumerolles par réaction chimique entre eux des sels d'origine marine.

Il a obtenu la soude et l'acide chlorhydrique par réaction de la vapeur d'eau sur le chlorure de sodium ; le sulfate de soude par réaction de la vapeur d'eau sur le sulfate de chaux et le chlorure de sodium.

On peut admettre que, dans un milieu réducteur, la vapeur d'eau réagissant sur le sulfate de chaux, donnerait de l'hydrogène sulfuré par réduction de l'acide sulfurique engendré.

212. — A cette conception très séduisante, on a fait diverses objections :

La vapeur d'eau comprimée provoquant la sortie des laves devrait sortir en dernier lieu alors que c'est le contraire qui se produit.

La vapeur d'eau se dissocierait en ses éléments et l'oxygène réagissant sur les corps environnants, transformerait ce milieu réducteur qu'est l'intérieur d'un volcan, et dont on retrouve ce caractère jusque dans les produits épanchés et déjà partiellement refroidis.

L'eau de mer ne peut fournir les torrents d'acide carbonique rejetés par le cratère et les fumerolles.

On eut à Hawaï divers exemples de mise en contact des laves liquides du Kilauea avec la mer, et aucune explosion n'en est résultée.

Enfin, il nous semble que si l'eau de mer arrivait par une faille en contact avec la lave, la vaporisation brusque, résultante aurait pour effet de refouler la colonne liquide, en

bouleversant au besoin les parois de la faille. On s'explique donc difficilement la pénétration de l'eau à l'intérieur et sa vaporisation qui fracturerait le sol à une distance plus ou moins grande du rivage, comme ce serait le cas pour les volcans du Thibet, distants de 1 500 kilomètres de la mer la plus proche.

213. Théorie de M. Stanislas Meunier (1). — L'eau est encore la cause du paroxysme ; elle n'est plus empruntée aux mers, mais aux roches elles-mêmes, et c'est à elle que les laves doivent la propriété de s'épancher hors du cratère. C'est l'*eau de carrière* qui descend peu à peu de la surface et s'occlut dans la lave par dissolution, en transformant cette dernière en une matière susceptible de foisonner, comme l'est l'eau de seltz par l'acide carbonique.

Le refroidissement du noyau central en fusion provoque les plissements de l'écorce que nous connaissons et des roches froides, imprégnées de leur eau de carrière, viennent en contact avec des roches chaudes, lorsqu'à la suite de la production d'une faille, un des paquets s'est effondré ; rappelons que, dans cette circonstance, c'est le mur qui, généralement, descend et non le toit. Mais, si la roche chaude dont nous venons de parler est à ce moment à une température trop élevée pour absorber une partie de l'eau de carrière du paquet effondré, elle verra, par la suite du refroidissement du globe, sa température s'abaisser, et elle acquérera la faculté de s'hydrater, de sorte que chaque jour, le niveau inférieur de l'eau de carrière descend d'une certaine quantité.

Entre temps, de même que dans l'appareil de Sénarmont, l'eau prend un état physique que l'on a pas à préciser davantage, abaisse le point de fusion de la roche froide A que l'effondrement a placé en dessous de la roche ignée B, et s'y

(1) *Revue scientifique*, 2 août 1902, et d'après une lettre de M. Stanislas Meunier à l'auteur.

occlut de façon à produire par ce fait même, une masse foisonnante « dont les propriétés, comme la composition, sont nécessairement celles de beaucoup de laves volcaniques » (fig. 28).

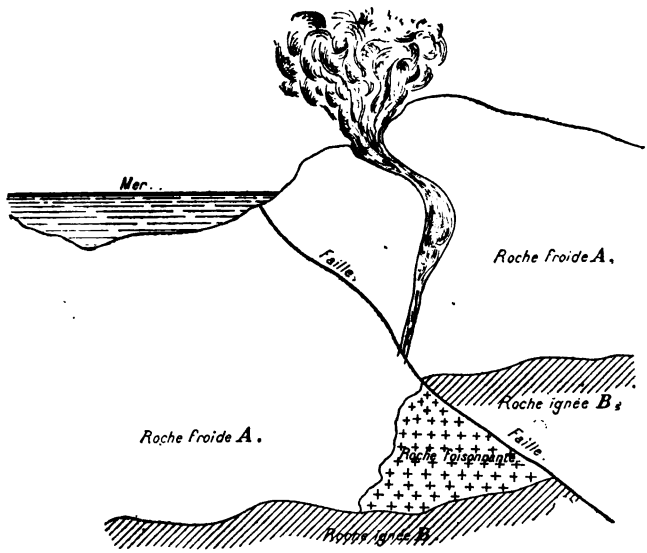


Fig. 28

A cet égard, M. Stanislas Meunier rappelle la transformation d'argile en lave à anorthite au cours de l'incendie de houillères, et conclut que s'il n'y a pas eu foisonnement de la matière, c'est que les gaz pouvaient se dégager librement.

La roche A qui, en acquérant la propriété foisonnante est devenue lave, restera en l'état jusqu'à ce que la faille qui fut la cause première de sa transformation se réouvre. N'étant plus comprise dans un espace clos, la lave laisse échapper la vapeur d'eau occluse et foisonne au point de gravir la cheminée et de venir s'épancher au dehors du cratère.

Ce qui précède suffit pour que l'on conçoive bien comment

la lave volcanique, loin d'être une matière répartie sous forme de couche continue dans toutes les régions de la Terre, est un apanage spécial des régions récemment remaniées par les grandes failles, et l'on verra l'importance de cette remarque en ce qui concerne la distribution générale des volcans sur le globe. En second lieu, on comprend aussi que, suivant les cas, la profondeur à laquelle s'établira un laboratoire volcanique, c'est-à-dire une masse de roche foisonnante, pourra varier considérablement. Du même coup on s'expliquera comment des volcans, même assez voisins, pourront être tout à fait indépendants les uns des autres (s'ils sont sur des cassures distinctes), ou, au contraire, en communication, même à longue distance (s'ils sont sur la même géoclase). Enfin, on remarquera que, suivant les volcans, la lave pourra résulter de roches initiales fort diverses, depuis les masses cristallines de toutes les catégories jusqu'aux masses stratifiées comparables à l'argile houillère citée tout à l'heure. On comprendra même qu'à la rigueur la propriété foisonnante indispensable à la manifestation volcanique soit communiquée à la masse par un autre principe volatil que l'eau et, par exemple, par des chlorures tels que des amas de sel gemme, ce qui expliquerait la composition des émanations de volcans exceptionnels comme ceux d'Hawaï, où l'eau est vraiment remplacée par l'acide chlorhydrique; par des sulfates qui rendraient compte de l'acide sulfurique si abondant au Puracé ; par des combustibles charbonneux qui donneraient la clé de l'origine des gaz hydrocarbonés de certaines salses, etc.

Si l'on jette un coup d'œil sur un globe terrestre ou mieux sur un planisphère établi d'après la projection de Mercator, on est frappé de voir que les continents placés très symétriquement et tous dans un même hémisphère, se répartissent en deux grands blocs allongés, dans des directions respectivement perpendiculaires. L'un d'eux correspond aux

Amériques et l'autre à l'Ancien Monde. La grande longueur de celui-ci s'étend du nord-est au sud-ouest et la grande longueur des Amériques va du nord-ouest au sud-est.

Malgré de grandes irrégularités apparentes, les principales chaînes de montagnes, c'est-à-dire les directions des grandes cassures et des grands recouvrements de roches sont, dans chaque bloc, plus ou moins parallèles au grand axe du bloc. En Afreurasie, ce sont le ridement archéen, les Alpes Scandinaves, les monts de Bretagne, les Pyrénées et l'Atlas ; dans les Amériques, ce sont les Appalaches, les Montagnes Vertes, les Alleghanys, les Montagnes Rocheuses et la Cordillère.

De plus, les géologues ont reconnu que ces chaînes, loin d'être synchroniques les unes des autres, se sont produites à des époques très différentes de l'histoire de la terre, et dans chaque bloc on voit les chaînes d'âge de moins en moins ancien se placer au voisinage les unes des autres d'une façon extrêmement régulière. Dans l'Ancien Monde, les vieilles chaînes sont au nord-ouest et les plus récentes au sud-est ; dans les Amériques, les plus vieilles sont au nord-est et les plus récentes au sud-ouest. On trouve même des ressemblances pour l'âge des soulèvements dans les deux cas.

Ainsi, les Appalaches sont d'âge antédiluvien comme le ridement archéen ; les Montagnes Vertes sont diluviennes comme les Alpes Scandinaves et les Grampians; les Alleghanys datent de la fin des temps primaires comme les monts d'Arrée, les Vosges, les Sudètes et l'Oural; les Montagnes Rocheuses sont en partie tertiaires comme les Pyrénées, les Alpes, le Caucase et l'Himalaya ; enfin la Cordillère est toute récente, en voie actuelle d'exhaussement, comme le Grand Atlas, l'Apennin, les sommets de l'Archipel et les Montagnes de l'Asie Mineure.

Et, ceci posé, on reconnaît que les volcans actifs sont,

pour l'immense majorité au moins, placés sur les lignes de surrection récente ; celles où les provisions de matière souterraine foisonnante peuvent aisément être renouvelées par le jeu des géoclases encore actives. C'est un premier point très important.

Un autre point, de même valeur, concerne la signification qu'il faut attribuer à la situation fréquente des volcans près du bord de la mer, et qui a d'habitude été mal comprise.

On ne tarde pas, en effet, à constater que le voisinage de la mer est bien loin de suffire à l'établissement des volcans. Si la rive du Pacifique présente tout un chapelet de bouches ignivomes, au contraire, la rive de l'Atlantique en est dépourvue sauf pour le travers de la Méditerranée prolongée.

Or, il est facile de s'apercevoir que les rivages du Pacifique contrastent profondément par leur profil abrupt avec les rivages de l'Atlantique qui, au contraire, sont en pente douce : la conclusion, c'est que la mer n'est pas la cause des volcans, mais son rivage peut être déterminé par les accidents de reliefs qui dérivent directement des déplacements souterrains dont les volcans sont les effets. De sorte que le rapprochement observé entre les volcans et les lignes littorales ne tient pas à ce que celles-ci déterminent les premiers, mais de ce que les uns et les autres dérivent d'une même cause profonde.

214. Théorie de M. Armand Gautier [1]. — Dans une série de communications du plus haut intérêt, ce savant chimiste a été conduit à déduire d'expériences fort curieuses, une théorie du volcanisme tout à fait originale.

Ces expériences ont permis de constater que :

1° Toute roche acide ou basique, même très compacte, contenait une grande proportion d'eau mécaniquement interposée entre ses molécules;

[1] C. R. 1901, p. 758, 932.

2° Que sous l'effet de la chaleur poussée à un degré suffisant, l'eau se vaporisait en même temps que s'évacuaient les gaz les plus divers, ceux que l'on trouve dans les fumerolles et, parmi eux, l'hydrogène en grande proportion.

Admettant l'existence du feu central et le transport sismique d'un paquet de roches d'une région dans une autre plus chaude, M. Gautier trouve l'explication des explosions et éruptions volcaniques dans la pression statique des gaz dégagés par les roches du sous-sol, sous l'influence du feu central, et comprimés entre la lave et le toit.

La colonne de fumée et les fumerolles représenteraient la vapeur et les gaz obtenus au laboratoire et provenant, dans la nature, de l'échauffement des couches du sous-sol par les laves, sans préjudice de l'apport gazeux des laves elles-mêmes.

Les expériences de M. Gautier dont nous relatons plus loin les résultats généraux ont été effectuées sur des roches fraiches, de composition et de nature déterminées préalablement avec soin.

a) 1 kilogramme de granite de Vire chauffé à 100° C avec 2 parties d'acide phosphorique sirupeux et 1 partie d'eau a donné.

	Pour 1 000 grammes de roche Volume gazeux en centimètres cubes
HCl. $SiFl^4$	trace
HS	1,32
CO^2	272,60
Hydrocarbures absorbables par Br	12,30
CH^4	trace
H	53,05
Azote et Argon	232,50

soit $572^{c3},88$ ramenés à 0° C et à la pression de 760 millimètres.

b) Le granite chauffé avec de l'eau seule à 300° C dégage aussi des gaz. Voici les résultats de deux analyses :

	Pour 1 000 grammes de roche Volume gazeux en centimètres cubes	
HS	1,3	1,0
CO^2	7,2	5,3
H	46	14,6
Az libre	0,3	5,9

En même temps, des sulfures solubles qui ne préexistaient pas dans l'eau, y apparaissent.

Les roches cristallines renferment donc une certaine quantité d'eau, et M. Gautier a pu en extraire les quantités suivantes, déduction faite des gaz qui se dégageaient simultanément :

	Perte en eau pour 1 000 grammes de roche	
	de 15 à 250° C	de 250 à 1 000° C
Granite de Vire	2,29	7,35
Porphyre de l'Esterel (Microdiorite quartzifère)	5,80	12,40
Ophite de Villefranque, près Bayonne.	»	15,06
Lherzolite de Lherz	»	16,80

c) A la température du rouge, le granite de Vire a dégagé des gaz dont les volumes indiqués ci-dessous ont été ramenés à 0° C et à la pression de 760 millimètres :

	Pour 1 000 grammes de roche Volume gazeux en centimètres cubes	
CO^2	400,6	370,6
HS	très peu	18,7
CO	133,4	141,3
CH^4	60,6	51,1
H	2 092,5	1 977,7
Az	22,7	10,3

Par suite, 1 000 grammes de granite ou son équivalent 376 centimètres cubes dégagent, au rouge, en moyenne

3160 centimètres cubes de gaz ramenés à 0° C et à 760 millimètres, soit 6, 7 fois le volume de la roche.

1 décimètre cube de granite a donné 20 litres de gaz divers et 89 litres de vapeur d'eau, soit plus de cent fois son volume en gaz.

Ces gaz exempts d'acétylène, d'éthylène, d'oxysulfure de carbone, renferment des traces de benzine, d'hydrocarbure C^nH^{2n}, du sulfocyanure d'ammonium, de l'ammoniaque et une matière goudronneuse qui rend l'eau opaline.

d) Le porphyre de l'Esterel frais, provenant de la carrière de Dramont, près Agay, a donné, après avoir été chauffé au rouge :

	Pour 1 000 grammes de roche Volume gazeux en centimètres cubes
HS	»
CO^2	1 686,25
CO	119,53
CH^4	72
H	884,82
Az	59,77

soit 2822,37 C^3 calculés à 0° C et sous 760 millimètres, soit 7, 6 fois son volume de gaz dont 2, 4 volumes d'H et $12^{gr},6$ d'eau.

M. Gautier n'a pas trouvé trace de benzine, de sulfocyanure d'ammonium ni d'oxysulfure de carbone.

e) L'ophite de Villefranque, près Bayonne, a donné après avoir été chauffée au rouge :

	Pour 1 000 grammes de roche Volume gazeux en centimètres cubes
CO^2	787,21
HS	47,90
CO	108,10
CH^4	41,47
H	1 475,37
Az	9,01

soit 2 469,06 C^3 ou 7,6 fois le volume de la roche, à 0° C et sous 760 millimètres.

f) La Lherzolite chauffée au rouge a dégagé :

	Pour 1 000 grammes de roche Volume gazeux en centimètres cubes
HS.	647
CO^2	4 277,9
CO.	108,6
H	400,8
CH^4	0,5

soit 5 438,4 C^3, à 0° C et sous 760 millimètres, ou 15 fois son volume de gaz et un peu plus de son volume en hydrogène.

De l'avis de M. Gautier, ces gaz ne préexistent pas occlus dans la roche, et se forment sous l'action de la chaleur, et ce qui confirme cette manière de voir, c'est la variation de composition de ces gaz au cours de la chauffe comme le montre le tableau ci-dessous :

Composition	GRANITE		OPHITE	
	1er tiers	2 derniers tiers	au début	à la fin
CO^2.	20,19 %	6,13 %	28,10 %	36,19 %
HS	1,28 »	0,41 »	3,44 »	»
CO	0,57 »	1,02 »	3,91 »	5,76 »
CH^4.	2,04 »	0,80 »	1,40 »	3,79 »
H	75,54 »	91,64 »	63,18 »	40 »
Az	0,30 »	0,30 »	»	14,25 »

215. — Des expériences très précises exécutées par M. Gautier, il résulte que l'hydrogène dégagé par les roches chauffées à haute température provient de la réduction de la vapeur d'eau par les sels ferreux : carbonate, silicate.

Une roche compacte renfermerait 18 % d'eau occluse par capillarité et que l'on ne peut extraire qu'en portant la roche au rouge vif et à l'aide du vide ; en plus des sels ferreux renfermés dans les feldspaths et silicates divers, la sidérose existerait plus abondante qu'on ne le supposerait au premier abord, car dans le granite de Vire, M. Gautier a trouvé 1gr,25 d'un carbonate évalué en carbonate de chaux, par kilogramme de roche.

La vapeur d'eau occluse réagissant sur les sels ferreux contenus dans la roche, et notamment sur les silicates : augite, pyroxène, hornblende, enstatite, biotite, etc., oxyderait ces derniers en produisant des silicates ferroso-ferriques.

« Dans les profondeurs, dit M. Gautier, sous des pressions où l'eau ne peut s'échapper, l'hydrogène ainsi produit, grâce à l'oxydation des silicates ferreux, augmentant sans cesse, la réaction inverse consistant dans la réduction des sels ferriques qui se forment, tend à son tour à se produire. Entre l'hydrogène formé sur place ou venu des profondeurs, la vapeur d'eau, les silicates oxydés ou oxydables et variant suivant les températures, il se fait des échanges incessants; il s'établit ainsi des équilibres mobiles d'où résultent les silicates ferreux ou ferriques, mélangés en proportions variables, mais où les premiers prédominent généralement. Ce sont ces silicates mixtes que nous trouvons le plus souvent dans les micas, pyroxène, diallage, hornblende, augite entrant dans la composition de ces roches.

Cet échange continu de gaz, en particulier, d'oxygène, d'hydrogène et de vapeur d'eau dès que, sur tel ou tel point, se modifient les conditions de cet équilibre, soit par issue des gaz réducteurs ou de la vapeur d'eau, soit en raison des variations de température, — cet échange se produit partout où la chaleur est ou redevient suffisante et où l'eau peut intervenir. »

M. Gautier épuisa par le vide, à la température du rouge, 150 grammes d'ophite, et il obtint en tout : $2^{gr},25$ d'eau de constitution, 371 centimètres cubes de gaz, dont 202 d'hydrogène et 122 d'acide carbonique. Il fit alors passer sur la roche maintenue au rouge, de la vapeur d'eau, et il obtint à nouveau 70 centimètres cubes de gaz ayant la composition suivante :

CO	3,32 %
CH^4	6,08 »
H.	36,20 »
Az avec 10 % d'air	54,20 »

D'autre part, M. Gautier a montré qu'au rouge, le sulfure de fer traité par la vapeur d'eau se transforme en magnétite et hydrogène sulfuré. Ce dernier gaz, d'après les expériences de l'auteur, attaque, quand il est porté au rouge, les silicates avec formation d'hydrogène libre et de *sulfosilicates*, sels correspondant à des silicates dont une partie de l'oxygène est remplacée par du soufre.

Ces sulfosels se décomposent sous l'action de la vapeur d'eau à la température de 200 à 300° C avec formation de sulfures solubles.

Les principes sulfureux de l'hauyne, du lapis, de l'outremer, seraient des sulfosilicates, et d'après M. Gautier, le granit et les autres roches acides contiendraient des sels de cette catégorie.

« En résumé, dit M. Gautier, le soufre des sulfures métalliques est déplacé au rouge par la vapeur d'eau, sous forme d'hydrogène sulfuré qui, par dissociation, donne à son tour de l'hydrogène et du soufre libre. Les sulfosilicates se forment à leur tour quand, aidé des agents réducteurs, en particulier des hydrocarbures, le soufre peut agir au rouge sur les silicates des roches profondes. Les sulfures solubles

et particulièrement celui de sodium et la silice ont pour origine la décomposition ultérieure des sulfosilicates par l'eau. Si l'acide carbonique est présent, les carbonates alcalins prennent également naissance. L'oxysulfure de carbone se forme en même temps que les sulfosilicates par réaction, au rouge, des gaz carburés et du soufre sur les silicates naturels. Dès que l'eau intervient, cet oxysulfure est décomposé en hydrogène sulfuré et en acide carbonique, acide dont le carbone a été emprunté aux carbures métalliques et l'oxygène aux silicates.

L'hydrogène libre provenant de la réaction de l'eau ambiante sur les sels ferreux s'écoule par les failles et avec les eaux minérales ; l'oxyde de carbone provient de la réduction au rouge de l'acide carbonique par l'hydrogène et pour une autre partie des carbonates renfermés dans les roches acides. Les hydrocarbures, en particulier CH^4, accompagnés de pétrolènes et de traces de carbures benzéniques proviennent de l'action de l'eau sur les carbures métalliques ; l'azote et l'argon ont pour origine des azotures et des argonures ».

Du reste, des croûtes cristallines de Az^2Fe^4 et d'Az^2Fe^5 ont été recueillies sur les laves de l'Etna.

L'ammoniaque provient de la décomposition des mêmes azotures qui, en réagissant à chaud sur l'acide carbonique et l'hydrogène sulfuré donnent des sulfocyanates; les corps azotés ou amidés plus complexes semblent provenir de l'action réciproque de l'hydrogène, de l'oxyde de carbone et de l'ammoniaque dont la combinaison est favorisée par la porosité des roches ».

Les roches éruptives ayant été formées et épanchées dans des conditions rappelant les éruptions actuelles, doivent contenir des traces des gaz que nous avons vu se former par l'action de la vapeur d'eau sur ces mêmes roches.

Voici, pour l'ammoniac et l'iode, les teneurs que M. Gautier a décelées :

	Ammoniac : grammes par kilogramme de roche
Granite de Vire	0,034
» d'Andorre	0,023
» de Cauterets	0,070
» de Fontana	0,130
» de Vologne	0,180
» de Clermont	0,041
Granulite en poches et filons à 40 % d'apatite	0,110
Basalte d'Espaly	0,300
Micaschiste du Haut Tyrol	0,024
Apatite du Canada	»

	Iode : milligrammes par kilogramme de roche
Granite de Cauterets	1,25
Mica du granit ci-dessus	0,78
Granit à mica jaune de Clermont	0,23
Granulite	0,17
Micaschiste	»
Apatite chlorée fluorée de Norwège	0,23
Apatite du Canada	»
Ophite de Villefranque	»

En outre de l'explosion provoquée par la rupture de l'enceinte qui contient ces gaz surchauffés, vient s'ajouter l'effet produit par l'inflammation de l'hydrogène arrivant au contact de l'air.

D'après les calculs de M. Brun [1] une roche contenant 4 % d'eau de constitution et simplement échauffée peut fournir assez de matière explosible pour projeter le double de son poids à 5 kilomètres de distance, en acceptant un rendement volcanique égal à celui d'une bouche à feu.

Néanmoins certaines éruptions présentent une soudai-

[1] *Bull. Sc. nat. de Genève.*

neté et une violence qui ne paraissent pas correspondre à la quantité apparente d'explosif hydrogène.

Cela tiendrait, d'après lui, à ce que une roche échauffée produit sur son enveloppe, en dégageant des gaz, une pression plus grande que toute grandeur connue si la densité des produits après la chauffe est plus petite que la densité de la roche primitive.

Cette condition réalisée dans les expériences de M. Gautier permettrait, d'après M. Brun, d'appliquer aux roches le principe ci-dessus et désigné, dans l'étude des explosifs, *principe du co-volume.*

216. — Nous ne nous rendons pas compte pourquoi l'hydrogène si abondant dans les gaz obtenus par M. Gautier est très rare dans la colonne de fumée où les flammes sont des phénomènes peu fréquents et surtout pourquoi on ne le rencontre qu'exceptionnellement dans les fumerolles ?

217. Théorie des influences sidérales. — Défendue par H. de Parville, Dierckx d'Anvers, Boudin de Londres, niée par des autorités comme M. de Lapparent de même par des astronomes et M. C. Flammarion est de ce nombre, cette théorie n'a pas encore acquis droit de cité. Néanmoins, elle recrute de nouveaux adeptes, aussi l'exposerons-nous en remerciant ici M. Dierckx, astronome à Anvers, des renseignements si précis qu'il a bien voulu nous communiquer et nous ne saurions mieux faire que de reproduire les deux lettres qu'il a bien voulu nous adresser :

« Nous avons eu la curiosité de rechercher jusqu'à quel point les circonstances astronomiques peuvent avoir secondé, ou même provoqué l'effroyable cataclysme de la Martinique.

Au 8 mai, le Soleil et la Lune, dont l'attraction détermine nos colossales marées terrestres et souterraines, étaient non seulement en périgée, mais rapprochés en déclinaison et en

ascension droite au point que l'explosion de la Montagne Pelée a coïncidé avec une éclipse de soleil.

Il y a même lieu de se demander si la sagesse des nations n'est pas dans le vrai en attribuant aux éclipses une influence néfaste, puisque les mêmes faits doivent produire les mêmes causes lorsque les circonstances primitives se représentent.

Le parallélogramme des attractions exercées par le soleil et la lune détermine, par suite de la rotation diurne, la formation d'une vague dont la crête est dirigée suivant un méridien, et qui affecte non seulement l'atmosphère et l'océan, mais aussi la croûte terrestre et le noyau fluide du globe. Ce quadruple ellipsoïde de révolution, toujours à la poursuite des deux astres, serait très régulier dans les quatre couches à peu près concentriques, n'étaient les résistances qui interviennent et exagèrent par endroits l'amplitude de la marée. La marée atmosphérique, ne rencontrant pas d'obstacles, est très régulière et peu marquée ; la marée océanique, fortement contrariée, est beaucoup plus capricieuse. Les continents parallèles aux méridiens arrêtent et exaltent la vague, en vertu de l'impulsion reçue par celle-ci ; et lorsque des détroits, des étranglements viennent s'opposer au passage normal des cubes d'eau entraînés, il se produit de remarquables coups de bélier. C'est ainsi que, sur les côtes de France, l'amplitude va jusqu'à dépasser 13 mètres, alors que normalement elle est de 75 centimètres à l'équateur.

Eh bien, il me semble impossible de séparer de cette idée de marée océanique celle d'une marée souterraine aux puissants et redoutables ressacs. Océan igné à densité croissante, mer interne encore bouillante, origine des geysers, lacs d'hydrocarbure d'où la pression fait jaillir les sources de pétrole auxquelles s'alimente l'univers, doivent au même titre que l'océan extérieur rouler la vague méridienne à amplitude maxima vers l'équateur, et présenter des puis-

sants phénomènes de flux et de reflux. Leurs flots gonflés produisent nos tremblements de terre dûs au frottement contre les parois des galeries étranglées, et déterminent jusqu'à un certain point la direction des secousses, d'autant plus vives qu'elles se rapprochent des marées de vives eaux. Des courants d'une force incalculable se brisant sur la côte déchiquetée de la croûte intérieure, impatients de renverser les mille obstacles qu'elle leur oppose, doivent y creuser les rives, miner l'appui des voûtes et les faire s'effondrer, mettant en communication des bassins dangereux à réunir, et déterminant de redoutables combinaisons chimiques.

La croûte terrestre elle-même, trop laissée hors de cause jusqu'à présent, subit l'action des marées disloquant sa masse peu plastique et menaçant constamment de rupture ses replis de moindre résistance, comme ont été menacées et rompues sur la lune ces lignes de fumerolles aux sublimations blanches, réunissant les cratères qu'elles traversent et rayonnant notamment tout autour de Tycho Brahé.

La circonstance du périgée lunaire coïncidant avec une éclipse, sera d'autant plus significative pour les initiés, que le Soleil et la Lune passaient littéralement au zénith de la Martinique pendant la terrible période. Ainsi, la Montagne Pelée est située par 15° de latitude, alors que le Soleil dardait par 17° 1/2, soit à peine deux degrés en dehors de la verticale surplombant le cratère, et la Lune presque exactement 17°, soit plus près encore du point considéré. Enfin, le jeudi 8, jour de l'Ascension et jour de l'explosion qui envoya dans les airs le cône supérieur du volcan, c'est à 8 heures du soir que se présente le périgée lunaire.

Pour les profanes ces chiffres demandent quelques explications, d'ailleurs très simples.

Si, au moment de la destruction de Saint-Pierre de la Martinique, nous eussions regardé le soleil chez nous, nous

l'aurions vu à peine séparé de la lune. En effet, il y avait eu du 7 au 8 mai une éclipse de soleil, ce qui veut dire que l'astre des nuits venait à peine de glisser devant le rayonnant Phébus.

Pendant que la terre tournait, par conséquent, sous les deux globes et lui présentait successivement tous ses méridiens — celui de la Martinique compris — les deux géants célestes qui produisent nos puissantes marées, exerçaient leur action en commun : ils tiraient de toute leur force dans une seule direction.

Mais, il y avait plus. La force des deux colosses s'exaltait par ce fait qu'ils étaient placés à une proximité rare — la lune surtout, dont l'influence est prépondérante. En effet, l'attraction augmente comme le carré de la distance diminue, de sorte que la douce Phébé a une puissance d'attraction autrement grande à son *périgée*, c'est-à-dire à son passage près de la terre, qu'à son *apogée* où sa distance est la plus grande. Or, les deux circonstances réunies que nous venons de signaler, c'est-à-dire la réunion des efforts du Soleil et de la Lune, plus l'exaltation des forces par le rapprochement de nous, ne sont pas les seuls facteurs qui aient concouru à la catastrophe.

En effet, Lune et Soleil eussent pu passer dans des régions plus australes ou plus boréales de la Terre, au moment considéré. Or, il se trouve, comme nous le disions au début, qu'ils ont passé au zénith de la Martinique, c'est-à-dire qu'un fil à plomb abaissé des deux astres fût tombé sur les Petites Antilles au passage méridien. Cela fut ainsi successivement pour tous les méridiens, et il n'y a pas jusqu'aux entrailles volcaniques de l'Espagne qui n'aient senti la terrible attraction, puisqu'à Alicante et à Elche il y eût des tremblements de terre.

Inutile, d'ailleurs, d'aller si loin. Il y eût à Anvers — et il devait y avoir à Anvers, qui n'est cependant pas situé à

15° de l'Equateur — une des grandes, sinon la plus grande marée de l'année. En effet, le 9, le coefficient de hauteur qui oscille entre 25 et 165 atteignait, en quelque sorte, le maximum, toujours par l'effet combiné des attractions lunaire et solaire.

Lors de l'éruption du 30 août, ce coefficient était de 104.

Toutes ces circonstances réunies ont provoqué aux Antilles une marée extraordinaire, en agissant tant sur les eaux de l'Océan que sur les matières ignées du globe. Les eaux de l'Atlantique ont, soit par leur élévation, soit par leur pression, trouvé le point vulnérable de la région volcanique, une colossale infiltration s'est produite avec l'épouvantable conflit qui s'ensuit entre l'eau et le feu, et la Montagne Pelée a sauté comme une chaudière ne résistant pas à une surproduction de vapeur. »

Voici dans ses grandes lignes, la théorie de M. Dierckx. Nous verrons bien si elle se confirmera.

Notons en passant que les éruptions de la Montagne Pelée de juillet, du 30 août, et celle de la Soufrière de Saint-Vincent du 19 septembre 1902 nous avaient été prédites par M. Dierckx le lendemain de la catastrophe du 8 mai ; elles coïncident avec les causes astronomiques indiquées par ce savant.

Le lecteur trouvera dans les chapitres consacrés à la *Martinique* et au *Volcanisme en 1902-1903* des rapprochements intéressants entre les *dates critiques* déterminées par le maximum d'attraction luno-solaire et les phénomènes sismiques et volcaniques produits à ces mêmes dates.

218. — Il nous semble que l'existence de la marée lavique, si elle se produit, devrait provoquer un brassage de la masse qui tendrait à uniformiser la nature des couches supérieures, et à donner une composition à peu près identique

aux produits des divers volcans répartis à la surface du globe.

En outre, si ce brassage se produisait, même très faible, il semble que l'on ne constaterait pas des différences profondes de composition entre les laves issues par le cratère supérieur et celles épanchées par les fissures du pied du cône.

219. — Dans une conférence, à Nancy, M. *F. de Saintignon* a développé une théorie qui peut se résumer comme suit :

L'attraction luno-solaire et la force centrifuge qui se manifeste à la surface du globe sont des forces dont la composante horizontale a une valeur différente suivant la latitude du lieu et l'instant considéré. Il en résulte un mouvement moléculaire dirigé vers les points où cette composante a sa valeur maximum, qui engendre, à la surface du globe, des zônes de surpression, là où la composante horizontale a sa valeur maximum, et des zônes de dépression là où elle a sa valeur minimum.

Les secondes entourent les pôles eux-mêmes.

La position des zônes de pression maximum varie naturellement avec la position du soleil et de la lune.

Ces variations de pression seraient la cause des marées, des tremblements de terre, des éruptions volcaniques, etc...

Nous ne développerons pas davantage la théorie de M. de Saintignon en l'absence d'éléments suffisants que l'auteur ne nous a point fournis, et nous nous bornerons à reproduire une interview où l'idée mère est exposée :

« A mon avis, il y a une corrélation entre les phénomènes solaires et terrestres, les planètes exerçant une influence générale et marquée sur ces derniers.

J'ai parlé de probabilités de nouvelles éruptions à la Martinique dans la première quinzaine d'août. A ce moment, en effet, le soleil redescendant vers l'équateur, passerait de

nouveau au zénith de l'île et devrait donner une recrudescence à l'activité de la chaleur souterraine, qui est loin d'être calmée. D'après ma théorie, les astres creusent les fluides en-dessous d'eux en exerçant une action perturbatrice extraordinaire lorsqu'ils sont au zénith ou au nadir du lieu.

Or, le 15 août, à midi, le soleil était, à quelques minutes près, au zénith du Mont Pelé, son action fut déterminante et la chaudière éclata.

Le 30 août, la lune, à son périgée, passait au même zénith, après avoir pour ainsi dire plané au dessus de la Martinique, depuis le 25 août, durant la période du lunistice. La dépression longuement entretenue et préparée, reçut une telle accentuation le 30, qu'il en résulta les trois effroyables explosions connues. Tous ces éléments et toutes ces coïncidences peuvent être facilement vérifiées.

(M. de Saintignon dit qu'il y a encore deux périodes dangereuses à traverser, la première est du 31 octobre au 20 novembre, et la seconde dans la première quinzaine de février 1903).

Les grosses planètes éloignées ont une très grande influence sur les éruptions et tremblements de terre, parce que, ayant un très faible mouvement en déclinaison, elles creusent constamment les mêmes parallèles. Il en résulte que, lorsque ceux-ci se trouvent directement au-dessous du soleil et de la lune, ou de ces deux astres à la fois, il se produit une grande accentuation de dépression ou de l'incandescence des fluides. Les planètes prépareraient donc les éruptions, et le soleil et la lune les détermineraient. »

QUATRIÈME PARTIE

—

PHÉNOMÈNES DIVERS CONSÉCUTIFS AUX ÉRUPTIONS VOLCANIQUES

CHAPITRE PREMIER

—

LUEURS CRÉPUSCULAIRES — COURONNES SOLAIRES

---

220. — A la suite d'éruptions volcaniques au cours desquelles d'énormes quantités de cendres très ténues furent lancées dans les airs, on constata en des lieux fort éloignés du centre de projection, à l'heure du crépuscule, des lueurs insolites et diversement colorées.

221. — Au cours de l'éruption sous-marine de juillet 1831 qui engendra l'*île Julia*, entre la Sicile et l'île de Pantellaria, une colonne de cendres sortit des profondeurs et durant plusieurs mois rejeta des torrents de particules très fines.

Dès les premiers jours d'août, à l'heure du crépuscule, le ciel prit des colorations bizarres, et à Gênes, à Odessa, à

Rome, à Madrid le phénomène fut visible et se prolongea jusqu'à la fin du mois de septembre.

Mais c'est à la suite de l'éruption du *Krakatoa*, en 1883, que les lueurs crépusculaires se produisirent avec un éclat qui n'avait jamais été constaté jusqu'alors.

222. — La cause de ces lueurs réside-t-elle dans la présence aux hautes régions de l'atmosphère de poussières volcaniques très ténues qui produiraient des phénomènes colorés de diffraction lorsque les conditions d'éclairage sont convenables ? C'est l'opinion de la majorité bien que aucune preuve matérielle en ait été apportée. Mais cela paraît, en effet, très possible, si l'on réfléchit que la colonne de fumée du *Krakatoa* s'élevait verticale à une hauteur de 11 kilomètres, que le volume des débris projetés est évalué à 18 kilomètres cubes, qu'en Norwège, en Suisse, en France, la neige qui tomba au cours de l'hiver de 1883-1884 — l'éruption avait eu lieu au mois d'août — fut recouverte d'une fine poussière noire composée des mêmes éléments que la cendre du volcan.

Si ces particules relativement fines sont restées en suspension dans l'atmosphère pendant plusieurs mois, d'autres plus ténues ont pu se maintenir en équilibre sous l'action des courants aériens, et en tout cas, c'est au cours de cet hiver que les lueurs crépusculaires furent constatées avec le plus d'intensité.

223. — Au mois d'août 1902, des phénomènes similaires auraient été observés en Norwège, mais rien n'est moins prouvé et s'ils ont existé, ils auraient pu être causés par la présence dans l'atmosphère de cendres rejetées par le mont Pelé à la Martinique.

224. — En raison de l'intérêt qu'ont présenté les lueurs crépusculaires de 1883-1884, nous allons résumer brièvement

les observations qui furent faites en différents points du globe.

Paris. — Les 26 et 27 novembre 1883, à 6h, 12 du soir (1), le ciel se teinta, au couchant, d'une lueur pourpre extrêmement lumineuse, analogue, comme aspect, à une aurore boréale.

Le phénomène cessa 2 heures après le coucher du soleil.

Le lendemain 28, au matin, l'aurore, avant le lever du soleil, était embrasée.

Le baromètre assez bas, le 26, était remonté assez rapidement le 27 et s'était maintenu pendant les jours suivants.

La température moyenne de la journée avait été :

Le 25 et le 26 novembre	. . . . .	10° C.
27 »	. . . . .	4°,9.
28 »	. . . . .	2°,8.

Les lueurs paraissaient occuper une large éclaircie du ciel où circulaient des cirrhus très légers et très élevés.

Le 28 novembre et le 1er décembre (2), le ciel était pur à l'O.

A 4h,15, dans la région inférieure, on vit une lueur insolite, jaune vif qui prit ensuite une nuance jaune orangé jusqu'à une hauteur de 20°, tandis qu'une teinte rouge clair, intense s'étendait jusqu'au zénith et même un peu à l'E. La région N ne présentait aucune particularité.

M. Decharme a fait observer que le phénomène qui ne prit fin qu'à 5h,30 avait eu une durée trop longue pour qu'il pût être attribué à la présence de vapeur d'eau.

Berlin. — Pendant les derniers jours de novembre, la lune se levait et les étoiles devenaient visibles à l'œil nu ; puis, à l'O, naissait une lueur cramoisie occupant 45°,

(1) C. R. 1883, p. 1331.
(2) C. R. 1883, p. 1384.

ce qui implique une hauteur de 60 kilomètres au siège du phénomène [1].

York. — Deux heures après le coucher du soleil, de $5^h,38$ à 6 heures, des lueurs furent visibles, tandis que de $4^h,25$ à $4^h,45$, la lune paraissait verte.

Worcester. — Pendant un mois le phénomène fut visible.

Le 4 novembre, on vit le soleil vert émeraude à 8 heures du matin, et le soir, de $4^h,45$ à 5 heures, la lune prit la même nuance.

Le 17 novembre, après une pluie, les objets furent trouvés recouverts d'un enduit noir.

A *San Cristobal* (Vénézuela), à *Ceylan*, à *Madras*, à *Honolulu*, à la *Trinité*, à *Calcutta*, en *Italie*, au *Cap de Bonne Espérance* où le phénomène dura un mois, à la *Côte d'Or*, au *Japon*, le soleil avait l'aspect d'un globe *bleu*, passant quelquefois au *vert*, et d'autres fois au *rouge*. Aux *Etats-Unis*, dans l'*Amérique du Sud* les lueurs crépusculaires se manifestèrent avec éclat.

225. — Contrairement à l'opinion émise par M. Chapel [2] que ces lueurs étaient dues au passage de la terre dans l'essaim des Léonides, M. de Gasparin [3] les attribue à des poussières cosmiques.

Le 13 décembre, à Tarascon, M. de Gasparin constata que la durée des lueurs devenait de plus en plus grande, à mesure que l'angle du cercle parcouru par le soleil — avec le plan d'un cercle horizontal — diminuait : Le phénomène était plus longtemps visible à Tarascon qu'à Paris.

A cette même date, il observa l'orientation rigoureuse du centre de la lueur et de celui du soleil qu'elle suivait dans sa marche. Ainsi, un bouquet d'arbres qui paraissait de

(1) C. R. 1883, p. 1385.
(2) C. R., 1883, p. 1450.
(3) C. R., 1883, p. 1400.

couleur noire, au début du crépuscule, se teintait de rose lors du coucher du soleil et conservait cette couleur pendant $1^h,15'$ après la disparition de l'astre. La persistance du phénomène était due, d'après M. de Gasparin, à ce qu'un déplacement de 20° au-dessus de l'horizon sur le cercle parcouru par le soleil mettait le bouquet d'arbres en dehors du cône d'ombre.

M. Landerer (1) ne partagea point l'avis de M. de Gasparin relativement à l'orientation rigoureuse des centres respectifs du soleil et des lueurs; il constata que le centre de la partie colorée du ciel était à gauche d'un plan vertical passant par le centre du soleil.

De fines particules de glace, trop peu nombreuses pour être visibles, seraient pour M. Alluard (2) la cause du phénomène que M. Angot attribue à l'interposition de vapeur d'eau, dans un état physique particulier.

226. — En même temps que les lueurs crépusculaires étaient encore visibles, au mois de janvier 1884, on observa en différents lieux un phénomène d'un autre ordre. Le 21 janvier, M. Ricco (3) vit autour du soleil, une grande *couronne* circulaire rougeâtre qui, à l'intérieur était blanc bleu, et à l'extérieur se fondait avec le violet du ciel.

Lorsque le soleil était près de l'horizon, la couronne devenait elliptique et s'excentrait vers le bas, et après que le soleil était disparu elle subsistait sous la forme d'un arc gothique.

Le rayon interne	mesurait	10°,8	± 9
» de plus grande intensité	»	15°,10	± 11
» externe.	»	21°,26	± 20

Le phénomène fut particulièrement visible le 8 avril de

(1) C. R., 1883, p. 1574.
(2) C. R., 1884, p. 163.
(3) C. R., 1884, p. 1299.

$7^h,30$ à 8 heures du soir, le 21 mars de 3 heures à 4 heures, et le 7 mars de 5 heures à $5^h,45$. Il débutait avec les lueurs crépusculaires, avait son plus grand éclat en même temps qu'elles, et il était encore visible après que les lueurs étaient éteintes.

227. — M. Tacchini [1] auquel on doit des observations très précises, a observé le phénomène des *couronnes* en plein jour, et il a noté les particularités suivantes.

Tant que le soleil est au-dessus de l'horizon, la couronne lui est concentrique, mais dès qu'il baisse, la partie inférieure de la couronne s'élargit et le soleil se déplace par rapport au centre de l'espace brillant intérieur.

Avant midi, la couleur de la couronne est rouge cuivre, et quand le soleil est près de disparaître, elle devient grisâtre à l'extérieur.

Le 13 mars, M. Tacchini mesura la couronne et lui trouva un rayon de 18°, dont 7 pour la partie brillante et 11 pour la partie externe.

Après le coucher du soleil, le crépuscule se teintait de rouge violet.

Pendant l'été, le phénomène perdit de sa netteté.

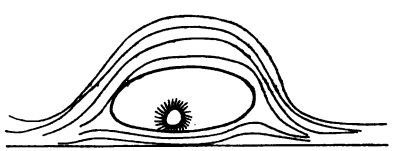


Fig. 29

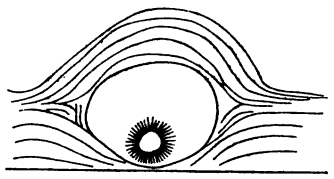


Fig. 30

M. Tacchini observa que le vent du nord en atténuait l'intensité, comme s'il dispersait la cause première, et pense

[1] C. R., 1884, p. 1566.

que l'origine des lueurs crépusculaires et des couronnes réside dans la présence de poussières dans les hautes régions de l'atmosphère.

Les figures 29, 30, 31 et 32 représentent des vues de la couronne et du soleil relevées par M. Tacchini.

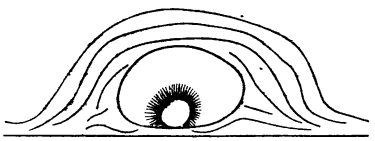


Fig. 31

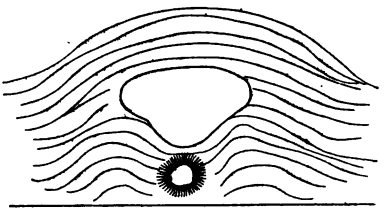


Fig. 32

228. — Le 5 décembre, dans l'après-midi, et les 19 et 20 décembre dans la matinée, M. Marchand [1] observa autour du soleil un espace annulaire de 10 degrés de rayon, éclairé en blanc. Au-delà, il aperçut une grande couronne concentrique à l'astre, de nuance rosée, passant à l'orangé à l'intérieur et au bleu à l'extérieur ; les contours étaient irréguliers. La couronne resta visible pendant une demi heure après le coucher du soleil, puis disparut brusquement.

229. — Nulle part, pendant la durée des lueurs, on ne constata d'oscillations dans la région embrasée ni des perturbations magnétiques comme au cours des aurores boréales, et le spectroscope montrait une bande d'absorption allant de la raie D à la partie du spectre la moins réfrangible.

230. — D'autre part les chutes de cendres d'origine volcanique constatées aux époques même où se produisaient

(1) C. R., 1884, p. 1514

les lueurs crépusculaires qui, très brillantes à la fin de 1883, s'atténuèrent rapidement pour disparaître dans les premiers mois de 1884, semblent bien indiquer que les phénomènes que nous avons décrits étaient un effet de diffraction de la lumière solaire pour un nuage de ces fines particules.

Le 17 novembre, à Storelwad, en Norwège, la neige blanche se couvrit d'une poussière noire.

M. Yung, à Genève, constata depuis le 1er décembre, que l'air par lavage abandonnait de nombreux globules de fer.

Il constata le 5 décembre qu'une couche de neige colorée en gris par une poussière riche en globules de fer recouvrait le mont Salève qui, la veille, avait un manteau de neige absolument blanche.

Le 12 décembre, la neige du Mont-Blanc prenait une teinte rose.

Le 19 décembre, en Westphalie, une couche de neige colorée en gris noir s'étalait sur la neige blanche de la veille.

Le même phénomène se produisit à Stockholm à fin décembre.

M. Nordens Kiold put recueillir un peu de cette poussière et il constata qu'elle contenait une matière charbonneuse qui, sèche, brûlait avec flamme, laissant un résidu rougeâtre renfermant Fe^2O^3. Al^2O^3. Ph. Co. Ni. — La proportion du cobalt et du nickel atteignait 0,5 pour cent.

A Queenstown (Cap de Bonne Espérance), une poussière sulfureuse recouvrit les parties E et O de la région.

CHAPITRE II

—

MÉTAMORPHISME PAR LES COULÉES VOLCANIQUES ENCLAVES

231. — Les coulées éruptives exercent une faible action sur les couches du sol qu'elles recouvrent, la faible quantité de minéralisateurs limitant leur pouvoir métamorphique aux seuls effets de leur température.

Mais, il en est tout autrement dans les profondeurs où, minéralisateurs et température se trouvent réunis et voient leur influence exaltée par la haute pression qui règne dans le milieu.

Les débris du sous-sol entraînés, et que l'on retrouve englobés dans les coulées, nous permettent d'étudier leur transformation métamorphique sous l'action du magma lavique et l'action réciproque qu'ils exercent sur la lave englobante. Ces débris désignés du nom d'*enclaves* sont de deux sortes : des morceaux de lave d'une éruption antérieure et des débris du sous-sol.

Les premiers présentent rarement des modifications de constitution, mais ils nous font connaître la nature des produits d'éruptions antérieures dont les traces nous sont masquées, — les seconds, au contraire, présentent presque toujours des modifications profondes dans leur structure,

leur composition chimique centésimale, dans la série des minéraux élémentaires qui les composaient avant le cataclysme ; l'altération peut aller jusqu'à la disparition de l'enclave.

Des minéraux nouveaux se rencontrent dans les enclaves ; les uns ont pour origine une réaction chimique et c'est le cas de la zircone, du diaspore, du corindon des basaltes du Velay. Les autres, arrachés aux profondeurs et charriés dans la lave, doivent leur conservation à leur point de fusion élevé : la cordiérite des tufs basaltiques du Velay, la sillimanite et la zircone du Plateau Central ont été ainsi amenées au jour.

Il convient, tout d'abord, de remarquer que l'action réciproque de l'enclave et du magma est d'autant plus énergique que la composition chimique — déterminée par la teneur en silice — de ces deux masses est plus différente.

Les dimensions des enclaves sont très variables dans un même gisement ; on en trouve figurées par de simples grains, et d'autres d'un volume de plusieurs mètres cubes. La nature de l'enclave diffère naturellement d'une contrée à l'autre et cependant la série des produits métamorphiques connus à l'heure actuelle n'est pas très variée.

On conçoit facilement tout l'intérêt de l'étude des enclaves tant au point de vue de l'histoire de l'éruption, de la connaissance des couches du sous-sol cachées à nos yeux, que de la genèse de certains minéraux que nous ne savons encore reproduire artificiellement dans nos laboratoires.

Pour suivre un ordre logique, il convient donc de classer les roches volcaniques en séries produisant les mêmes effets et d'examiner l'action exercée par chacune d'elles sur les diverses enclaves que l'on y rencontra [1].

[1] Lacroix. — *Enclaves des roches volcaniques.* *Bull. C. G. F.*, 11 (1890).

232. 1re série. Basalte, Labradorite, Andésite augitique, Néphélinite, Leucitite, Basalte mellitique, Téphrite, Leucotéphrite basique, Limburgite, Augitite. -- *Enclave de quartz.* — Le quartz est effrité et sur sa surface fondue on trouve des cristaux d'augite accompagnés quelquefois de magnétite, de spinelle; quelquefois l'augite est remplacée par le pyroxène rhombique.

Enclave de grès, de quartzite. — La surface extérieure est vitrifiée et recouverte d'une couche à structure perlitique où l'on trouve le spinelle et la cordiérite.

Si l'enclave subit une fusion complète, on voit à sa surface un verre foncé, la *tachylite*, souvent épigénisée en calcite ou en zéolithes.

Autour de l'enclave, la lave montre souvent des cavités tapissées de *porricine* ou pyroxène vert, de lamelles de tridymite et plus rarement de quartz.

Enclave d'argile et de schiste argileux. — Elle se présente sous la forme de blocs fondus, à surface vernissée, de couleur grise, bleue, rouge, de très grande dureté. C'est le *Basaltjaspis* des Allemands.

On trouve dans la masse des cristaux de cordiérite souvent accompagnés de spinelle.

Les grains de quartz qui pouvaient préexister dans l'enclave se comportent comme il a été indiqué plus haut.

Enclave feldspathique. — Le feldspath fond et recristallise en microlithes et ses fissures sont pénétrées de tachylite.

Les minéraux qui l'accompagnaient dans la roche en place se sont également transformés; l'hypersthène et le pyroxène monoclinique en augite et spinelle englobés dans un verre —; le mica et le grenat en spinelle et l'hypersthène souvent en un verre brunâtre.

Enclave quartzo-feldspathique. -- Généralement, l'enclave subit un commencement de fusion avec une recris-

tallisation du verre et production d'éléments nouveaux aux dépens de la biotite et du grenat de la roche en place.

Ce n'est que plus rarement que l'on voit le feldspath fondre et laisser un squelette en dent de scie.

La zircone, le diaspore, la cordiérite et la sillimanite, les moins fusibles des éléments de la roche, restent intacts.

La biotite se transforme en : spinelle jaune, violacé ou vert, noyé dans un verre brun, et en hypersthène.

Le grenat se transforme en spinelle vert.

Des enclaves de cette nature se trouvent à Espaly (Haute-Loire).

Si l'enclave subit une fusion complète on trouve une ponce légère avec quelques minéraux infusibles et du quartz noyés dans une tachylite.

Enclaves calcaires. — Ces enclaves, généralement à grain fin, impriment aux couches voisines de la roche enclavante une texture franchement cristalline.

Les actions métamorphiques s'y manifestent peu intenses et restent limitées à la zone de contact ; elles produisent toujours les mêmes minéraux : wollastonite augite, grenat, et le plus souvent de la chaux et de la magnésie. Par la suite, ces deux oxydes se carbonatent, s'hydratent et engendrent des zéolithes, entre autres l'ettringite et la chalcomorphite.

La scapolite et le sphène s'y rencontrent assez rarement.

Les orthophyres, porphyrites micacées, syénites, minettes, kersantites exercent une action similaire sur les enclaves de quartz, de feldspath.

233. 2e série. Trachyte et Andésite acides, Phonolithe, Leucitophyre, Leucotéphrite à sanidine, Ryolithe, Dacite. — On admet que ces roches à orthose, à feldspath triclinique acide, ont été formées sous l'influence simultanée de l'eau, d'agents minéralisateurs et

de la pression, tandis que celles de la *première série* résulteraient de la simple fusion de leurs éléments suivie d'un refroidissement plus ou moins lent [1].

Enclave de quartz. — Avec l'andésite acide, elle est en partie résorbée avec formation d'inclusions vitreuses, d'un verre brun et de cristaux d'augite.

L'andésite de Santorin a donné de la wollastonite.

Le trachyte à hauyne produit un verre englobant des cristaux de pyroxène ; il a peu d'action sur les grès et les schistes.

Si l'enclave est de grandes dimensions, il y a formation de trydymite dans les fissures du quartz et dans le verre brun qui l'entoure : au Capucin du Mont-Dore, le quartz enclavé provient d'une pegmatite et montre une grande similitude avec les produits artificiels formés sur les briques siliceuses de hauts fourneaux.

Le gneiss à cordiérite enclavé dans le trachyte du Capucin y forme des traînées noires, caverneuses, tapissées de lamelles de tridymite associées parfois à des cristaux de quartz ancien.

Enclave quartzo-feldspatnique. — Les enclaves sont rarement scoriacées dans les trachytes et andésites acides, la température ayant été plus basse que dans les cas précédents : aussi les minéraux cristallisés abondent-ils, notamment la cordiérite.

Le granite et le gneiss produisent, par leur biotite : du spinelle vert, de la magnétite, de l'hypersthène vert, de l'augite ; souvent une partie de la biotite recristallise.

Le gneiss à cordiérite du Capucin, dans le trachyte, a conservé sa structure ; les feldspaths attaqués par leur périphérie engendrent une orthose sodique ; le quartz est transformé en tridymite ; la cordiérite et l'andalousite

(1) Fouqué et Michel Lévy. — *Synthèse des Roches et des Minéraux*

anciennes sont criblées de spinelles ; et dans les géodes on trouve en abondance la tridymite, l'orthose, l'hypersthène, l'oligiste [1].

Rarement, l'andalousite, le disthène, la sillimanite ont été altérés avec formation de spinelle et de corindon : quelquefois le feldspath est transformé en un autre, récent, à texture grenue.

Les phonolites exercent sur les gneiss une action similaire, mais très profonde.

Les feldspaths se transforment après fusion en orthose sodique grenu et le grenat engendre du spinelle et de la sillimanite.

Quand le phonolite a pu pénétrer les fissures de l'enclave, il y a formation d'augite et de sa variété œgyrine, mais la présence de l'hypersthène n'a pas encore été constatée.

Le verre subsiste rarement, il est presque toujours épigénisé en zéolites : analcime, mésotype, thomsonite, souvent accompagnés d'œgyrine et de wollastonite.

L'andésite à augite, à hornblende, enclavée dans le trachyte à biotite et à hornblende donne comme produits métamorphiques : zircone, augite, hornblende, hypersthène, mica, fayalite, tridymite, oligiste, pseudobrookite, diopside.

Le pyroxène dominant est l'augite, tandis dans les roches de la première série c'était l'hypersthène.

A *Krakatoa*, une enclave de diabase quartzifère, dans une ponce andésitique a montré : augite, amphibole vert clair provenant de l'ouralitisation de l'augite ; quartz avec épidote et magnétite ; feldspath avec augite, magnétite, et montrant de nombreuses inclusions vitreuses indice de la haute température qui régna dans la profondeur.

Le trachyte transforme la pegmatite en *Sanidinite* à orthose, anorthose, feldspath calcosodique, mica, hornblende,

[1] Lacroix. — C. R., CXII, p. 253.

pyroxène, zircon, sphène, corindon. Les géodes sont tapissées de : zircon, sphène, apatite, wernérite, sodalite formés par les minéralisateurs.

Enclave calcaire. — Les andésites et les phonolites silicatisent imparfaitement les enclaves calcaires en donnant naissance à : wollastonite, pyroxène, grenat, anorthite, apatite, humboltilite, tandis que des réactions secondaires engendrent : zéolites, pectolite et parfois anhydrite, péridot, sphène dans les boursouflures formées dans le calcaire par le dégagement du gaz carbonique.

Fréquemment, une zône fibreuse de wollastonite sépare l'enclave du magna volcanique.

Les trachytes et les leucitites ont une action variable d'un centre à l'autre, sur les enclaves calcaires.

Quand la réaction est profonde, on constate la formation dans le calcaire devenu cristallin de : périclase, olivine, forstérite, spinelle, pyroxène, wollastonite, anorthite, grenat, idocrase, hauyne, outremer, humite, meïonite, amphibole, leucite, sanidine, sodalite, néphéline.

Au col de la *Somma*, sur le flanc du Vésuve, les enclaves calcaires particulièrement nettes, renferment des géodes quelquefois tapissées de mica planté perpendiculairement à la paroi, puis une couche de calcite, puis une autre de péridot ou d'humite : plus profondément, des lits de péridot ou d'humite mélangés de spinelle alternent avec des lits de calcite et enfin une masse confuse des minéraux précédents.

M. Lacroix [1] explique cette formation par l'action des minéralisateurs et de la vapeur d'eau sur le calcaire fissuré.

L'intensité du phénomène métamorphique diminue au fur et à mesure que l'enclave se rapproche par sa composition de celle du magma englobant.

Les *enclaves d'andésite augitique*, de *labradorite*, de *ba-*

(1) Lacroix. — Enclaves des roches volcaniques, p. 258 et C. R. CXIV, p. 1250.

salte dans les roches volcaniques de la première série renferment de l'hornblende brun rouge, formé sous pression, dans les profondeurs, de l'augite, de l'apatite, de la magnétite, du feldspath basique.

Les *amas d'hornblende* ou *d'augite* sont fréquents, surtout dans les tufs basaltiques; souvent, même, ils forment des bombes où ces deux minéraux sont associés entre eux et à l'olivine (surtout l'hornblende), à la magnétite, au fer titané et très rarement à la biotite. Ils sont quelquefois accompagnés d'un verre.

L'hornblende et l'augite formés dans les profondeurs ont été amenés au jour, dans l'état sous lequel nous les trouvons.

234. — La plus grande incertitude règne sur le mode de formation *des bombes* et des *amas d'olivine*. Ces derniers forment le centre de bombes, remplissent des poches dans les dykes basaltiques peu épais, sur les bords des coulées, partout, enfin, où le refroidissement a été rapide.

L'olivine y est accompagnée d'enstatite, de diopside chromifère, et d'un spinelle également chromifère.

Sous l'influence des agents d'altération, l'olivine se craquelle, se tache d'oligiste et souvent elle est épigénisée par des carbonates rhombiques.

235. — Les *enclaves non feldspathiques* produisent :

1° *Dans la téphrite :* nodules d'hornblende, apatite, ilménite, augite, biotite, hauyne, sphène.

2° *Dans une leucotéphrite :* nodules d'hornblende, apatite, augite, mica, leucite.

Les nodules d'olivine ne se forment qu'autant que la roche enclavante, très basique renferme déjà de l'olivine.

236. — D'une façon générale, l'influence de l'enclave sur la roche englobante se traduit par la formation de spinelle, d'hypersthène et de labrador, mais pour ce dernier, dans les verres injectés dans les fissures de l'enclave.

CINQUIÈME PARTIE

ÉTUDE DES PRINCIPAUX VOLCANS

CHAPITRE PREMIER

VÉSUVE — ETNA — STROMBOLI — SANTORIN, etc., etc...

237. Le Vésuve. — L'éruption la plus ancienne enregistrée par l'histoire, date de l'an 79 de notre ère, mais elle ne doit pas être la première, car Strabon attribue au feu l'aspect des pierres et rochers qu'il rencontra au sommet.

Le volcan sommeilla de 79 à 1139, avec une forte éruption seulement par siècle, puis il resta au repos jusqu'en 1631, date à partir de laquelle il eut des réveils terribles et fréquents : de nos jours c'est le plus actif des volcans européens.

En ce siècle, ses principales éruptions eurent lieu en 1822 — 1855 — 1865 — 1867 — 1872 — 1882 — 1883 — 1889 1891 — 1895.

Le cône du Vésuve bute au nord contre l'escarpement de

la Somma et s'infléchit graduellement vers le sud (fig. 33). Il est formé de débris cimentés par les laves des éruptions

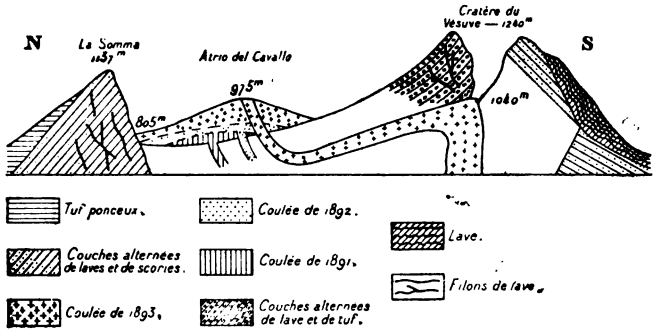


Fig. 33. — Coupe du Vésuve dans la direction N-S.

anciennes, et porte au sommet un cratère dont la largeur et la profondeur furent très diverses au cours de ce siècle, les explosions écrêtant plus ou moins le sommet du cône. En 1891 le diamètre était de 175 mètres et la profondeur de 200 mètres ; en 1895 ces dimensions étaient réduites, et la profondeur ne dépassait pas 40 mètres (fig. 34).

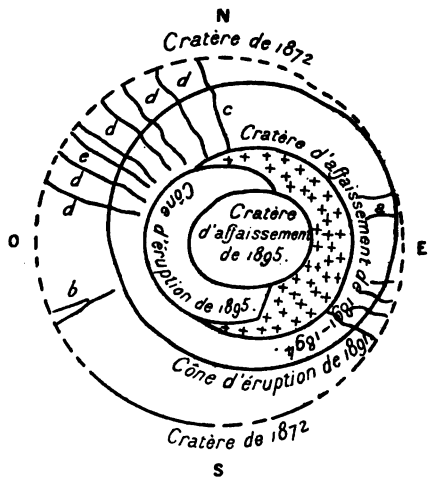


Fig. 34. — Schema des variations de forme du cratère du Vésuve. — *a*, fente de 1889; *b*, fumerolle chlorhydrique de 1895 ; *c*, fente de 1891 ; *d*, fentes de 1895 ; *e*, grande fente de 1893.

La Somma est un débris d'un ancien cône datant des temps préhistoriques (fig. 33). Sa masse comprend des dolomies recouvertes de lave leucitophyre disposées en

bancs épais de 2 à 3 mètres, inclinés au nord de 25 degrés et entre lesquels sont des lits de scories et de tufs.

Une couche de tufs s'est amassée sur la partie inférieure du versant N. Des filons de lave sillonnent l'intérieur de la masse.

Le versant S très abrupt est élevé de 400 mètres au-dessus du pied du cône du Vésuve qui porte, en ce point, le nom de col de la Somma et un peu plus au S celui de Atrio del Cavallo.

Sur la ligne droite Vésuve-Vultur se trouvent : les Étuves de Néron, Monte-Nuovo, la Solfatare, lago del Dragone.

La direction Vésuve — cratère d'Arso (1538) passe par : Epomeo, point culminant d'Ichia, lac d'Ansante et elle épouse la fissure de la grande éruption de 1631 d'où, à chaque crise, s'échappent encore aujourd'hui des mofettes ; elle passe ensuite à Herculanum.

Une droite N.-O. S.-E. passant par le sommet du Vésuve touche : le cratère de Roccamonfina, Pompéï.

Enfin, une quatrième direction Vésuve-Monte San-Angelo recoupe Castellamare et les sources minérales de Strabie.

Telles sont les principales fissures diamétrales — ou plans éruptifs — du Vésuve (voir n° **50**).

Les minéraux du Vésuve proviennent du col de la Somma et de l'Atrio ; ils sont le résultat de l'action métamorphique des laves sur des enclaves calcaires et dolomitiques.

Le cône proprement dit s'élève droit, et au centre du cratère se trouve un second cône également formé de débris qui a disparu bien souvent pour se reformer plus tard.

La lave du Vésuve est basique, c'est une leucitophyre dont les cristaux de leucite, souvent gros comme des noix, sont de la première consolidation, c'est-à-dire qu'ils ont été formés dans les profondeurs et ultérieurement charriés par la lave en fusion.

238. — L'un des résultats (1) les plus curieux de l'éruption de 1850 est d'avoir produit une sommité qui est devenue le point culminant de la montagne.

Depuis 1850, rien n'annonçait l'approche d'une éruption si si ce n'est, peut-être, le nombre et la haute température des fumerolles du sommet, lorsque le 14 décembre 1854, à 8h,30 du soir, s'ouvrit au pied occidental du Palo et dans la portion sensiblement plane du plateau supérieur, une cavité conique, presque circulaire, dont le diamètre et la profondeur sont évalués tous deux à 80 mètres.

Dans la matinée du 1er mai, vers 4 heures, pendant que du sommet de la montagne s'échappait une quantité extraordinaire de fumée, ce qui durait depuis trois jours, un sombre mugissement répété par les remparts de la Somma annonça le commencement d'un nouvel et terrible embrasement. Il se forma d'abord quatre bouches qui vomirent de la lave et des blocs incandescents au milieu de la fumée, de sorte que, dans la soirée du 1er mai, il y en avait onze. Toutes ces bouches se sont ouvertes dans la direction du gouffre de décembre, sur la pente sud du cône, pente rapide et couverte de lapilli.

Tous ces cratères sont à peu près sur une même ligne ce qui indique que la montagne s'est déchirée suivant une fissure, dans toute sa longueur.

Le cratère supérieur émit peu de laves, mais les plus bas vomirent des laves abondantes et liquides.

La vitesse d'écoulement des laves oscilla entre 2 et 6 mètres par seconde sur des pentes dont l'inclinaison varia de 3 à 36 degrés.

En 1883, le cône central du cratère lançait des débris laviques parsemés de petits cristaux d'augite, tandis que, par les bords de l'ancien cratère, la leucitophyre se déversait.

(1) C. R., XL. p. 1247.

En 1889, une fissure s'ouvrit sur le flanc E du cône par laquelle la lave s'épancha sur Val-Inferno. On estime que du 5 mai au 25 décembre, plus de 500 000 mètres cubes s'épanchèrent par cette seule voie, tandis que le petit cône central disparaissait.

En 1891 une fissure s'ouvrit sur les flancs O des deux cônes et la lave atteignit l'Atrio : elle se referma au bout de quelques jours.

En 1894, la lave s'épanchant par fissures sur l'Atrio, le cratère s'affaissa de près de 200 mètres tandis que un amas conique de lave, de 170 mètres de hauteur, se formait sur l'Atrio.

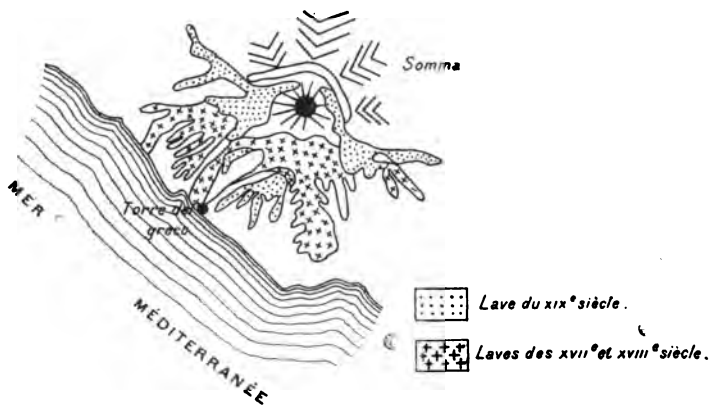


Fig. 35. — Plans des coulées du Vésuve.

239. Etna. — Il est le plus élevé des volcans européens actifs, et en même temps celui dont la masse est la plus imposante.

Le grand cône de débris couronné par le cratère central, s'élève à 3 500 mètres d'altitude.

De même que le Vésuve, ses premières éruptions datent des temps préhistoriques et le soubassement est fait de couches de laves de 2 mètres d'épaisseur, inclinées vers la base de

la montagne, alternant avec des lits de scories. Des filons et des dykes de lave recoupent le soubassement en tous sens.

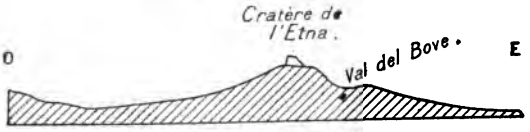


Fig. 36. — Coupe de l'Etna suivant la direction E-O.

Sur le flanc E se trouve un grand amphithéâtre à parois verticales, hautes de 300 à 1 200 mètres, plus large à la partie supérieure que dans le bas : c'est le Val del Bove (fig. 36 et 37).

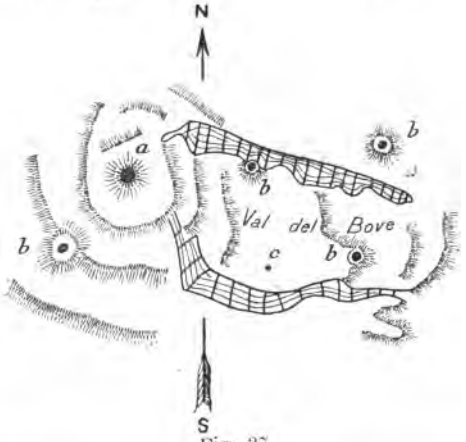


Fig. 37

a, cratère principal de l'Etna ; *b*, cratères adventifs.

Lyell [1] a déduit de l'étude des plongements des strates en ce point, plongements divergents autour d'un axe vertical passant par Trifoglietto (*c* de la figure 37), que le Val del Bove représentait les vestiges d'un cratère détruit par explosion à une époque inconnue. Cette opinion généralement admise, fait de l'Etna un volcan à deux cratères, comme il s'en trouve beaucoup à Java et dans les îles de la Sonde.

Cette opinion est corroborée par le grand nombre de cratères adventifs *b* qui se sont formés lors des éruptions dont l'allure est restée uniforme au cours des siècles.

[1] Lyell. — Principes, t. II, p. 12.

240. — Une éruption [1] a commencé le 30 janvier 1865 à $10^h,30$ du soir, par une secousse de tremblement de terre des plus violentes, qui s'est fait surtout sentir sur le flanc N.-E. de la montagne. Elle se composait d'oscillations verticales et de mouvements horizontaux.

Dès le début, des gerbes de feu s'élevèrent sur le côté N.-E. de l'Etna à 1700 mètres au-dessus du niveau de la mer et à 500 mètres du Frumento, vieux cône d'éruption situé à la base du volcan principal (*a* fig. 37).

En trois jours, la lave parcourut 6 kilomètres, présentant une largeur de 4 kilomètres et une épaisseur de 10 à 20 mètres. La pente du terrain était de 4 à 5 degrés.

Le fleuve de feu s'arrêta à Scorica Vacca, à 800 mètres d'altitude.

Le 6 mars, on comptait 7 cratères en activité, dont 5 compris dans une vaste enceinte elliptique à grand axe orienté E.30°N ; à ces 5 cratères correspondaient 5 cônes, dont les plus élevés (60 mètres de hauteur environ) et en même temps les plus échancrés étaient aux extrémités du grand axe. Le sol de cette surface elliptique était partout crevassé. Les deux axes de l'ellipse mesuraient respectivement 400 et 100 mètres, et la direction de la ligne d'implantation des cratères, le grand axe de l'ellipse, ne faisait qu'un angle de 2 degrés avec une fissure orientée E.28 N, partant du pied du Frumento, large de plus de 10 mètres et de profondeur parfois considérable. La direction de la fissure prolongée par le grand axe de l'ellipse, aboutissait, en direction, au sommet du cône central de l'Etna.

Le cratère central n'a point jeté de laves, mais il a produit tout le temps une épaisse fumée blanche d'autant plus intense que les autres cratères étaient plus actifs.

La lave rejetée par les 5 bouches était riche en pyroxène.

[1] C. R. LX p. 548.

Les cratères supérieurs détonaient 2 à 3 fois par minute en produisant un bruit rappelant le tonnerre.

Les cratères inférieurs faisaient entendre sans cesse un bruit rappelant le choc de marteaux sur une enclume.

La coulée de 1669 qui atteignit Catane avait parcouru 40 kilomètres.

Le 21 mars 1883, une fente de 2 kilomètres de longueur s'ouvrit à la cote 1 100 mètres, au nord de Nicolosi, et huit cônes adventifs se formèrent. Le volume de débris projeté fut évalué à 15 000 mètres cubes et celui des laves rejetées par les huit cônes et la fente à 14 000 mètres cubes.

241. — Nous avons vu n° **50** que la direction de la fissure de 1865, fait avec l'axe du Val del Bove, un angle de 55° et que ces deux lignes sont les deux plans éruptifs principaux de l'Etna.

Les laves de l'Etna sont basiques.

242. Le Stromboli. — Il est situé dans les îles Lipari, dénommées aussi Eoliennes, au nord de la Sicile, et présente une allure toute particulière que Sainte-Claire Deville appela *Strombolienne* lorsqu'il la rencontra, notamment au Vésuve.

Le cône aujourd'hui démantelé est formé de nappes de laves et de couches de scories inclinées de 31°. L'altitude du sommet est de 2 500 mètres.

Le cratère, en forme de fer à cheval, mesurant 1900 mètres sur 1 000 mètres, s'ouvre sur le flanc N.-O. du cône.

Au fond, la lave bouillonne depuis les temps préhistoriques, émettant des vapeurs et des gaz qui viennent crever à la surface du bain en bulles de plus de 1 mètre de diamètre, en projetant une pluie de scories et de cendres.

La lave est animée d'un mouvement de va et vient dans

le sens vertical, et c'est quand elle arrive au point le plus élevé de sa course que les bulles de gaz explosent.

L'amplitude du mouvement est de 6 mètres ; il y a 50 ans, la période d'oscillation était parfaitement régulière, et sa durée de 6 minutes ; actuellement elle semble avoir perdu sa régularité car la durée varie de 9 à 45 minutes.

Le Vésuve eut, pendant quelque temps, une allure strombolienne et Sainte-Claire Deville avait pensé que cet état représentait le passage du volcan actif à la solfatare ; mais rien n'est moins prouvé, car un certain nombre de volcans des îles de la Sonde passent sans transition de la période d'activité à l'état de solfatare.

A différentes reprises, le Stromboli eut des réveils quand l'Etna entrait en éruption ; du reste, on a constaté que l'entrée en éruption d'un de ces trois volcans était généralement accompagnée d'un accroissement d'activité des deux autres.

Jadis, le Stromboli produisit des coulées de laves andésitiques qui forment le soubassement du cône, mais aujourd'hui ses laves sont basiques et analogues à celles de l'Etna.

243. Groupe de Santorin. — Les îles Santorin, dans l'archipel des Cyclades, comprenaient, en l'an 97 avant notre ère, deux îles Thera et Therasia, débris d'un ancien cône volcanique dont le cratère ébréché, rempli par les eaux de la mer, formait un bras de mer de 300 mètres de profondeur. Les deux axes formés par ces deux îles ont respectivement 11 et 75 kilomètres de longueur (fig. 38).

Les falaises de *Thera* sont verticales et formées de nappes de lave noire, de bancs de scories rougeâtres et de nappes de cendres grises ; leur hauteur varie de 200 à 400 mètres. Les deux îles Thera et Therasia sont recouvertes d'un manteau de tuf ponceux, blanc dont voici la composition : un

feldspath monoclinique accompagné de labrador, d'oligo-

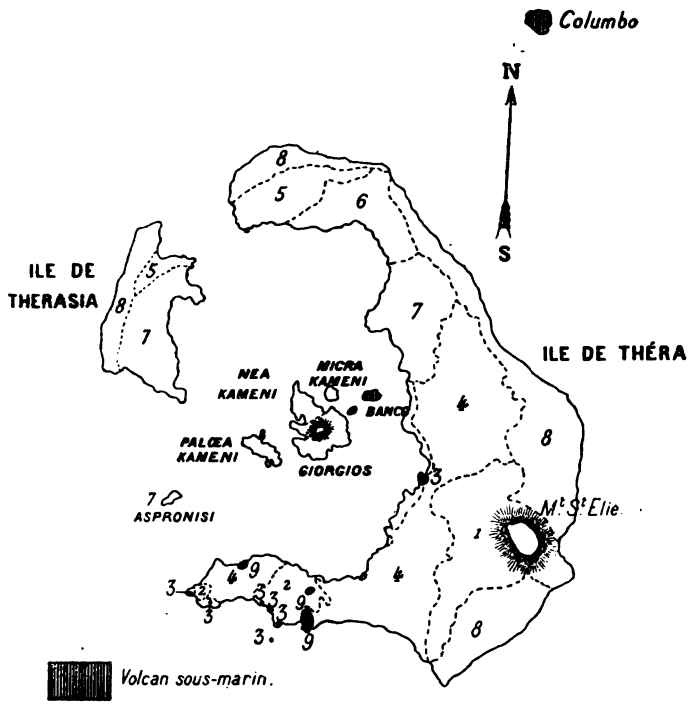


Fig. 38. — Carte de l'archipel Santorin. — 1, marbres et phyllades; 2, roches acides d'Acrotiri; 3, laves du Mavro; 4, Tufs et projections; 5, Scories; 6, Massif du Petit Saint-Elie; 7, Laves de Therasia; 8, Dépôt ponceux supérieur; 9, Laves basiques d'Acrotiri.

clase, de pyroxène, d'hypersthène, est pris dans une matière amorphe formée de :

SiO^2	71
SiO^2	0,5
Al^2O^3	16,8
Fe^2O^3	0,8
CaO	0,8
MgO	0,7
NaO	7,4
KO	2

L'inclinaison des nappes de lave est dirigée généralement vers l'extérieur, et dans l'île de Thera ces nappes viennent buter contre le Mont Saint-Elie (alt. 567 m.) formé de schistes et de calcaires métamorphiques, en strates redressées.

En 46, Palœa Kameni sortit des flots ; en 1573 une éruption sous-marine construisit Mikra Kameni, et en 1707 Nea Kameni se forma (fig. 38 et 39).

Les objets recueillis dans une habitation découverte sous le tuf blanc, par M. Fouqué, établissent que l'île de Thera fut habitée au temps où l'usage du fer et du bronze étaient encore inconnus, environ 2000 ans avant notre ère, date de la catastrophe qui produisit le dépôt de tuf blanc.

Les auteurs anciens, Strabon, Ovide, rapportent que ces îles furent le siège d'éruptions nombreuses, et nous arriverons de suite à celle qui dura de 1866 à 1870 et dont nous rapporterons les faits caractéristiques d'après les études de M. Fouqué [1].

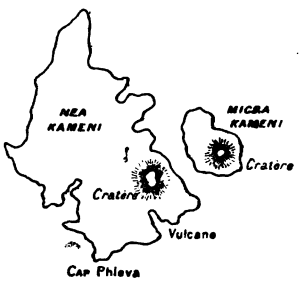


Fig. 39. — Nea Kameni.

Voici d'abord des indications intéressantes sur la constitution de ces îles.

Palœa Kameni. — Longueur 1 450 mètres, largeur 400 mètres ; ses falaises hautes de 98 mètres plongent dans la mer. Une fissure ayant pour longueur, largeur et profondeur 500, 3 et 15 mètres, court dans la direction N 40° O.

Elle est formée de couches de laves à texture très diverse : schisteuses, compactes, bulleuses, vitreuses ; les gros cristaux de labrador sont fréquents et souvent des lamelles de tridymite tapissent des druses.

On ne rencontre pas de scories, de tufs, et l'on ne trouve aucun cratère dans l'île.

(1) Fouqué — *Santorin et ses éruptions.*

Micra Kameni. — Longueur 490 mètres, largeur 320 mètres, altitude moyenne 71 mètres.

Au sud de l'île se trouve un cône de 300 mètres de diamètre surmonté d'un cratère mesurant 60 mètres de diamètre et 40 mètres de profondeur.

Des fissures multiples orientées N. N.-E., S. S.-O. sillonnent l'île. On ne trouve pas de scories ; les laves sont vitreuses et le labrador en est le feldspath dominant, accompagné d'olivine.

Nea-Kameni. — Longueur 1350 mètres, largeur 660 mètres. Les rivages sont déchiquetés ; le point culminant a une altitude de 160 mètres.

Elle renferme un cratère mesurant 110 mètres de longueur, 80 mètres de largeur et 15 mètres de profondeur.

L'éruption de 1866 lui fit perdre 300 mètres de longueur dans la direction N.-S.

Au cours de l'éruption de 1707 les laves coulèrent dans les directions S.-N., S.-O. et S.-E. Les laves à labrador sont le plus souvent scoriacées et quelquefois vitreuses et compactes. On trouve peu de cendres datant de la même époque.

244. — *Eruption de 1866.* — Le 26 janvier, des secousses de tremblement de terre furent ressenties qui se continuèrent plusieurs jours, tandis que le rivage nord de Nea-Kameni s'enfonce peu à peu sous les flots. Des fissures se forment, l'eau de la mer s'échauffe et des fumerolles d'acide sulfhydrique se dégagent des flots. La pointe S. de l'île s'affaisse (fig. 39 et 40).

Le 1er février, le volcan sous-marin Vulcano entre en éruption et une colonne de flammes de 5 mètres de hauteur et de 15 mètres carrés de superficie à la base s'élève au-dessus de la mer.

Le sol de Nea continue à se fissurer et une fente E.-O. bifurque et atteint le cratère de 1707.

Le 4 février, au point où la mer bouillonne avec le plus d'activité, au S.-O de Nea, apparaît une lueur, puis surgit un ilot fait de blocs noirs, entassés pêle-mêle et qui s'élève peu à peu, sans bruit et sans secousses. A sa surface, on trouve des débris du fond marin et même un morceau de carène de navire échoué, long de 20 mètres.

L'îlot baptisé *Giorgios*, croît peu à peu. La journée il paraît noir et la nuit il est rouge. De toutes parts sortent de ses flancs des torrents de vapeur d'eau mélangée de gaz acides.

La température de la mer aux alentours du Giorgios est de 50° C.

Des fumerolles naissent à Nea, et le fond de la mer s'exhausse.

A différentes reprises, le Giorgios est le siège d'explosions violentes avec projections de cendres et de lapilli incendiant les brousses de Nea et de Micra et blessant différentes personnes.

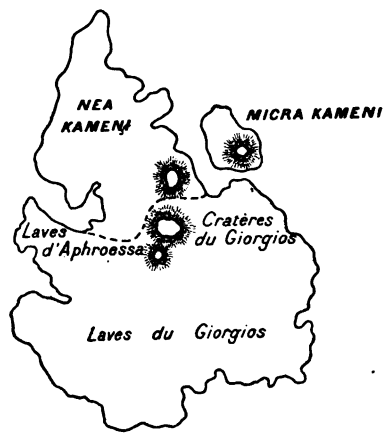


Fig. 40. — Nea Kameni et le Giorgios.

La colonne de fumée accompagnant ces explosions s'élevait à 220 mètres avec une vitesse de 27^{m},50 par seconde.

Des orages et des cyclones se produisent à de nombreuses reprises.

L'ilôt Giorgios continue à s'accroître en hauteur et en diamètre et, cependant, il ne porte aucun cratère; les matériaux qui le forment sont toujours des blocs scoriacés, informes, empilés les uns sur les autres et dont une partie retombe à la mer sous le choc des explosions.

Une fente N.-S. se dessine au sommet.

Des fumerolles acides se développent, redoublent d'activité au moment des explosions et déposent une couche de sel marin sur les lèvres des fissures qui leur donnent passage.

A Nea, le nombre des fumerolles à acides carbonique et sulfhydrique augmente et leur température monte à 200°C, pendant que sur le sol se dispose une couche de gypse, de sel ammoniac et de sulfate d'ammoniaque.

Le 24 mars, deux fissures du cône de 1707 dégagent de l'acide chlorhydrique.

L'accroissement du Giorgios se poursuit jusqu'en 1870 au milieu d'explosions précédées de grondements rappelant le bruit fait par le passage d'un train sur un pont métallique, et suivies de l'émission d'un nuage de vapeurs noires en choux-fleurs.

Peu à peu, le Giorgios se rapprocha de Nea dont, aujourd'hui, il recouvre une partie (fig. 39 et fig. 40).

En 1869, Janssen constata que la déclinaison magnétique avait son maximum dans la direction de la fissure dont le Giorgios et Aphroessa sont les deux points principaux et que parmi les vapeurs dégagées par cette fissure figuraient l'hydrogène, le chlore et le cuivre.

Aujourd'hui, Aphroessa, Giorgios et Nea Kameni sont réunis et ne forment qu'un bloc; sorti d'un fond de 300 mètres de profondeur, Giorgios s'élève à 80 mètres au-dessus des flots. De nouvelles sources thermales se sont formées dont la température est comprise entre 45 et 60° C, et le débit variable avec la hauteur de la marée. Leur composition est celle de l'eau de mer avec un peu de carbonate ferreux.

Des fumerolles représentant un mélange de vapeur d'eau e des éléments de l'air sortaient de Giorgios, il y a quelques années, à une température assez élevée pour enflammer du bois.

On en trouvait, à 300° C, chargées d'acide chlorhydrique ;

d'autres à une température moins élevée, riches en acide sulfureux attaquaient les roches voisines avec formation de perchlorure de fer, sesquioxyde de fer, gypse.

Enfin, des fumerolles d'acide carbonique et d'acide sulfhydrique mélangées de vapeur d'eau étaient réparties en de nombreux points.

A Aphroessa, on trouvait le long d'une fente large de 10 mètres un composé déposé par les fumerolles les plus chaudes, de couleur blanche, exempt d'iode, de brome, de potassium et dont voici la composition :

Partie soluble	$MgOCO^2$ . .	2,2	1,4	1,1	0,4	0,3	»
	$MgCl$ . . .	2,1	»	»	2,8	4,5	»
	$NaOSO^3$ . .	5,5	1,2	0,1	1,19	1,7	»
	$NaOCO^2$. . .	73,8	74,2	88,7	86,6	1,7	1,6
Partie insoluble	$MgOCO^2$ . .	»	»	»	»	81,4	95
	$Al^2O^3Fe^2O^3$.	15,5	21,5	8,7	8,3	12,1	0,7
	$Al^2O^3 3SO^3$.	0,5	0,9	0,7	»	»	2,7
	$CaOSO^3$. . .	0,4	0,8	0,7	»	»	»

Les cendres qui, au cours de cette éruption, tombèrent trois fois, renfermaient les mêmes éléments que la lave; elles étaient principalement formées de débris de pâte amorphe avec granules de fer oxydulé et microlithes d'albite.

La lave acide était une andésite à amphibole et à grands cristaux de labrador, avec hornblende, un peu d'augite, un peu de fer oxydulé, et des microlithes d'oligoclase, d'albite et de sanidine.

245. — M. Fouqué classe les laves anciennes de Santorin en deux catégories :

Les laves subaériennes qui sont des andésites augitiques soit à labrador soit à anorthite.

Les laves sous-marines qui, la plupart du temps, sont des andésites acides, à hornblende avec feldspath labrador prédominant.

A *Théra*, la lave à anorthite est recoupée par des dyke

d'andésite à labrador. Les tableaux ci-dessous indiquent la composition de ces deux roches :

Andésite à anorthite

SiO^2 . . .	51,8	52,4	51,5
Al^2O^3 . .	20,1	21,3	24,5
Fe^2O^3 . .	11,6	8,7	8,8
CaO . . .	11,9	11,7	10,9
MgO . . .	3,4	3,9	2,3
NaO . . .	1,1	1,8	1,2
KO . . .	0,1	0,1	0,8

Andésite à labrador

SiO^2 . . .	53,9	60,9	64,6
Al^2O^3 . .	25,6	21,6	18,7
Fe^2O^3 . .	5,7	4,3	6,2
CaO . . .	6,8	4,2	2,8
MgO . . .	1,9	1,5	1,5
NaO . . .	3,4	4,6	4,7
KO . . .	2,7	2,9	1,5

L'anorthite en gros cristaux est accompagnée de fer oxydulé, d'augite, d'olivine, et de microlithes de labrador, d'augite, de fer oxydulé et de fer titané.

Le labrador, en grands cristaux, est accompagné par l'hypersthène, l'augite, le fer oxydulé, avec microlithes d'albite, d'oligoclase, de fer oxydulé, de fer titané. Dans les druses on trouve de la tridymite et de l'opale.

La lave du *Petit Saint-Elie*, d'apparence trachytique, à texture schisteuse est riche en anorthite ; elle présente la composition suivante :

SiO^2.	56 %
Al^2O^3	23,5 »
Fe^2O^3	5,3 »
CaO.	6,7 »
MgO	2,6 »
NaO.	5,5 »
KO	0,4 »

A *Balos*, la lave cordée, analogue à une tachylite brune

est criblée de vacuoles et riche en labrador, anorthite et pyroxène :

SiO^2	57,2 %
Al^2O^3	19,5 »
Fe^2O^3	9,2 »
CaO	5,7 »
MgO	3,1 »
NaO	5,2 »
KO	0,1 »

La partie superficielle des laves est recouverte à Acrotiri par un trass à sanidine, labrador, oligoclase, hornblende, pyroxène ; ces deux derniers éléments sont souvent altérés et transformés en une matière chloriteuse.

Chauffé à 100° C. le trass perd 6,96 % d'eau.

Dans les parties anhydres de la roche, on trouve le quartz granulitique et la calcédoine, et dans les parties hydratées des variétés d'opale.

Voici la composition du trass anhydre :

SiO^2	73,2 %
TiO^2	3,2 »
Al^2O^3	13,8 »
Fe^2O^3	2,4 »
CaO	0,6 »
MgO	1,1 »
NaO	4,9 »
KO	2,1 »

246. — Les éruptions à Santorin se font en deux temps : pendant le premier, la lave issue d'une fissure sous-marine monte poussée par les gaz internes et se gonfle comme une ampoule : pendant le second, la pression des gaz fait éclater l'ampoule et rejette des débris. Nous avons vu que si le second temps vient à manquer (n° **166**) l'ampoule se dégonfle et qu'un cratère d'affaissement se forme.

La composition des laves n'a point changé au cours des siècles, et elle les classe parmi les laves acides, plus sili-

ceuses et moins ferrugineuses que celles de l'Etna et du Vésuve.

Nous avons indiqué (n° **79**) la composition des gaz dégagés par les fumerolles de l'éruption de 1866.

247. Les volcans Islandais. — L'île est entièrement formée de matériaux volcaniques, coulées de laves basaltiques et bancs de tufs palagonitiques de l'époque tertiaire recouverts en partie par des laves antérieures à l'époque glaciaire. Par dessus, s'étendent les coulées modernes qui recouvrent environ 25.000 kilomètres carrés, soit le quart de la superficie totale de l'île.

L'Islande est une terre basse, l'altitude moyenne est de 470 mètres et le sommet le plus élevé, l'Orvefa, — volcan qui causa le cataclysme de 1349, — n'est qu'à 1959 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le climat est froid et les neiges éternelles descendent à 750 mètres d'altitude.

Des côtes partent des terres basses qui s'élèvent peu à peu en plateaux ondulés, recouverts d'un éternel manteau de neige et de glace. Dans les régions E. et S.-E. les glaciers descendent presque jusqu'à la mer et, par endroits, ne laissent pas plus de 200 mètres de rivage libre ; aussi verrons-nous l'eau jouer un rôle prépondérant dans l'histoire des éruptions islandaises.

La pénétration à l'intérieur présente d'énormes difficultés et bien des régions n'ont encore pu être explorées : aussi est-on peu renseigné sur la constitution géologique du sol, la distribution des volcans, leur allure, la nature de leurs déjections. Néanmoins, aujourd'hui on connaît en Islande vingt volcans actifs sans compter un plus grand nombre, très probablement, qui sommeillent sous les nevés et dont l'existence se manifeste de temps à autres par des inondations formidables charriant pêle-mêle, neige, glaçons, scories, cendres, blocs de lave, boue, etc.

Les volcans actifs, connus sont répartis en huit groupes portant chacun le nom du désert glacé d'où il émerge :

1° Groupe de Swœfellsness ;
2° » » l'Hécla ;
3° » » Reykjanes ;
4° » » Katla ;
5° » » Laki ;
6° » » Vatna, sur le flanc S. du plateau du même nom;
7° » » Odahda-Raun ;
8° » » Mytvan ;

Ils sont répartis des deux côtés d'une grande fracture qui traverse l'île de l'Est à l'Ouest, du névé de Vatna au cap Reykjanes et se poursuit sous la mer. A l'Ouest de l'Islande, existe, en effet, un groupe d'îles volcaniques parmi lesquelles l'île Nye qui, à diverses reprises, apparut puis, disparut sous les flots.

La profondeur de la mer ne dépasse pas 1.000 mètres entre l'Islande et l'Angleterre tandis qu'elle atteint rapidement 4.000 mètres dans la direction de la Norwège.

Voici l'altitude des principaux volcans islandais :

Orvefa	1959	mètres au-dessus du niveau de la mer.	
Vatna	1920	»	»
Snœfells (E.).	1824	»	»
Œster	1818	»	»
Hekla	1550	»	»
Snœfells	1433	»	»
Sinjörfjall N.E.	1211	»	»
Lambafell E.	1082	»	»
Dranga	889	»	»
Glann	901	»	»
Trolladyngja	1491	»	»
Kollotladyngja	1209	»	»

Les éruptions, en Islande, furent très nombreuses et attei

gnirent parfois une intensité que l'on ne rencontre nulle part ailleurs.

La plus ancienne, celle du *Katla*, date de l'an 900 ; entre les années 1104 et 1845, ce volcan eut encore treize éruptions considérables.

L'*Hékla* eut 17 éruptions pendant la même période.

Pour l'ensemble des volcans islandais, l'histoire a enregistré 13 éruptions au XIIIe siècle, et 14 au XVIIIe siècle.

Certains d'entre eux ne rejettent que des cendres et d'autres des cendres et des laves ; les éruptions sont toujours de longue durée.

En 1766, l'*Hékla* lança une telle quantité de cendres que la couche épaisse de 0m,60 au pied de la montagne, avait encore 0m,30 d'épaisseur à 225 kilomètres de distance.

Au cours de l'éruption qui dura plusieurs mois, la coulée de lave atteignit une longueur de 23 kilomètres.

L'éruption de 1845 dura sept mois et demi.

Les laves rejetées par l'*Hékla* couvrent une superficie de 700 kilomètres carrés.

Depuis l'an 900, le *Kotluga* ne déverse plus de laves ; les coulées antérieures ont produit des cheires.

Il eût, depuis cette époque, 15 éruptions de cendres et d'eau.

L'éruption la plus formidable eut son siège au *Laki* formé de tufs palagonitiques, à l'O. du groupe montagneux du Skaptar et à l'E. du plateau de Vatna. Elle se produisit en 1783 et causa la mort de 9 336 habitants, 28 000 chevaux, 11 500 bestiaux et 190 000 brebis. La famine s'ensuivit.

A la base du *Laki*, se forma une fissure E.-O. de 20 kilomètres de longueur, parfaitement rectiligne, et jalonnée sur tout son parcours par plus de 500 cônes adventifs, faits de débris dont 33 avaient un diamètre de 100 à 150 mètres et une hauteur de 50 à 100 mètres.

La lave s'épanchait simultanément par tous ces cratères

adventifs et ne sortait point par la fissure [1]. C'était une lave basaltique dosant 50 pour cent de silice.

La coulée forma un lac de feu de 48 kilomètres de longueur sur 14 kilomètres de largeur et 200 mètres de profondeur d'où elle s'échappa en deux coulées longues de 32 et 28 kilomètres, recouvrant une superficie de 900 kilomètres carrés.

La rivière Skapta, large de 300 mètres, fut comblée ; elle coule aujourd'hui à 13 kilomètres de son ancien cours.

On a évalué le volume de lave rejeté pendant les 5 mois que dura cette éruption — du 1er juin au 25 octobre —, à 27 kilomètres cubes.

Sous les nevés du désert de *Vatna*, existent un certain nombre de bouches volcaniques invisibles, à côté de celles qui surgissent des neiges et parmi lesquelles le *Vatna*.

La superficie de la contrée de Vatna est de 8 000 kilomètres carrés ; le sol est recouvert de couches alternées de neige et de projections. Au cours de ce siècle, le volcan subaérien *Vatna* eut plusieurs éruptions de cendres et de ponce.

En 1801, des bouches invisibles entrèrent en activité, et entraînèrent la fonte des glaces recouvrant la plaine méridionale de l'île. Les eaux charriant des boues et des débris volcaniques, se jetèrent à la mer formant une nappe de 130 kilomètres de longueur à partir de la côte et de 50 kilomètres de largeur, si visqueuse que des navires éprouvèrent de grandes difficultés en la traversant.

Le champ d'Odadah-Raun est un vaste désert de lave de 6 000 kilomètres carrés de superficie, exploré pour la première fois en 1874 par Thoroddsen.

Le soubassement est un tuf palagonitique recouvert d'une lave de dolérite d'âge préglaciaire, rejetée par une vingtaine de cratères dont elle fut la dernière manifestation :

[1] De Lapparent. — *Traité de géologie*, p. 427.

l'épaisseur de la lave varie de 20 mètres à 200 mètres, et son volume est d'environ 220 kilomètres cubes.

Les appareils volcaniques se montrent sous la forme de fissures jalonnées de cônes adventifs et sous celle de cônes proprement dits, tels que le *Trolladyngja* et le *Kolladingja* dont les cratères produits par effondrement mesurent environ 1 100 mètres sur 380 mètres et furent des lacs de lave, analogues à celui du Kilauea, aux îles Sandwich.

En 1875, une fissure dite de *Sweinagja* s'ouvrit, et depuis le milieu de février jusqu'à fin avril, il sortit 276 000 000 de mètres cubes de lave basaltique à 49,6 pour cent de silice formant une nappe de 23 kilomètres de longueur, recouverte par endroits de sel ammoniac en cristaux colorés en jaune par le perchlorure de fer.

En 1875, une éruption se produisit en un point que les uns placent au volcan Vatna dont nous avons parlé, et les autres dans l'Odadah-Raun — en tout cas, sur la limite sud de ce désert. La contrée fut recouverte par une pluie de cendres et de ponce évaluée à 300 millions de mètres cubes et dont les particules les plus fines, entraînées par les vents tombèrent à Stockholm après avoir parcouru 1900 kilomètres.

Le cirque d'*Askja*, produit d'un effondrement antérieur, vit sa configuration se bouleverser. Au centre, se forma un gouffre de 1 200 mètres de diamètre et de 300 mètres de profondeur qu'occupèrent des eaux dont la température était de 22° C en 1876 et de 14° C en 1884. La figure 15 le représente.

Des fumerolles sortaient tout autour.

En 1783, une éruption sous-marine se produisit à 100 kilomètres au S.-E. de Reykjanes.

La mer fut recouverte de pierre ponce sur une étendue de 200 kilomètres carrés et l'île *Nye* sortit des flots.

En 1834, à la suite d'un tremblement de terre, l'île disparut.

Des sources thermales entourent la baie de *Breidi-Fjoror*.

Le *Snæfellsness*, situé au N.-O. de l'île, est resté en activité depuis l'époque préglaciaire jusqu'au milieu de notre ère.

En 950, il fut le siège d'une grande éruption.

248. Volcans polaires.— Au nord, c'est le *Beerenberg* dans l'île de Jean Mayen : son altitude est de 2545 mètres, et ses deux dernières éruptions datent de 1732 et 1818.

Au sud, l'*Erebus* et le *Terror* beaucoup plus rapprochés du pôle que ne l'est le Beerenberg, sont en presque continuelle activité au milieu des banquises de glace.

249. Volcans de l'Amérique du nord.— Toutes les bouches volcaniques sont situées sur le versant O. des hautes montagnes dont le pied est baigné par les eaux du Pacifique : chaînes de l'Alaska, des Cascades, de Nevada, Montagnes Rocheuses. Elles jalonnent la grande fracture qui cotoie le Pacifique et quelques fractures secondaires.

En allant du nord au sud, on trouve les groupes suivants : *groupe de l'Alaska*, dans la presqu'île du même nom, qui se prolonge par les nombreux volcans des *îles Aléoutiennes*, d'origine essentiellement volcanique.

Groupe du Fairwather.

Groupe des Monts des Cascades qui surplombe des plaines recouvertes de laves.

Au S.-E. de celui-ci, le *Parc National* de Yellowstone avec ses anciens cratères à ryolithes et ses geysers.

Le *groupe du Mexique* très important, comprenant : le Jorullo, le Tanutaro, le Colima sur la grande fracture N.-S.; et le Popocatepelt (alt. 5400 mètres), le Cerro de Ajusco (alt. 3850 mètres), le Nevado de Tolma (alt. 4650 mètres), le Patzcuaro, le Patamban, le Bufa di Mascota sur une frac-

ture E.-O., perpendiculaire à la première et limitant au sud le plateau de Mexico.

Sur des fractures secondaires, on trouve, toujours au Mexique, l'Orizaba (alt. 5500 mètres), le Cofre de Perrote, l'Iztaccihnall (alt. 4800 mètres), le Ceborucco (alt. 2160 mètres), le groupe de San Andres dont nous avons déjà parlé.

Dans le San-Salvador, l'Izalco.

Dans le Nicaragua, le Cozeguina.

La caractéristique des volcans de l'Amérique du Nord est leur retour bien marqué au repos. Un grand nombre n'a pas eu d'éruption depuis les temps préhistoriques, et la plupart lancent surtout des cendres et des débris rarement accompagnés d'émissions intermittentes de laves.

Le *Popocatepelt* fut en activité de 1519 à 1523, rejetant des cendres et des pierres, puis après un réveil, en 1539, il rentra dans le repos jusqu'en 1664, date à laquelle il fut encore le siège d'une éruption.

L'homme ne l'a pas vu rejeter des laves.

Le *Colima* entra fréquemment en éruption, et pour ne parler que des plus récentes, nous citerons les années correspondantes : 1856, 1870, 1872, 1873, 1881, 1891, 1902.

L'*Orizaba* actif de 1545 à 1565, aurait, au courant de l'été 1902, rejeté des cendres et de la fumée.

L'*Iztaccihnall*, porte dans son cratère un lac d'où l'on extrait la glace à destination de Mexico.

Le *Ceborucco* dressé au-dessus de plaines hérissées de cheires bien conservées a, pour la première fois, dans les temps historiques, révélé son activité par une série d'éruptions qui dura de 1870 à 1876.

Après avoir projeté des nuages de sable qui s'épandit jusqu'à 25 kilomètres de distance, une fente s'ouvrit à partir de la cîme, large de 90 mètres et d'égale profondeur. La lave s'épancha par à-coups, entraînant des blocs de rochers, en

même temps que des jets de vapeur sortaient par la fissure.

250. — Les groupes de l'*Amérique Centrale* sont dans les mêmes conditions que ci-dessus.

Le 20 janvier 1835, le *Coseguina*, de 2000 mètres d'altitude, fit explosion et, de ce fait, perdit son sommet sur 831 mètres de hauteur. Il projeta en 43 heures 50 kilomètres cubes de cendres qui couvrirent une superficie de 400.000 kilomètres carrés. A 40 kilomètres de distance, la couche n'avait pas moins de 5 mètres d'épaisseur.

251. Volcans de l'Amérique du Sud. — Les bouches volcaniques sont en bien plus grand nombre que dans l'Amérique du Nord ; elles jalonnent la continuation de la grande fracture N. S. qui se poursuit au pied de la Cordillère des Andes et la fracture secondaire N. E.-S. O. au-dessus de laquelle s'élève la chaîne de Montagnes qui traverse le Vénézuela, reparaît dans les îles des Antilles, pour disparaître au N. des îles Bahama et reparaître à la pointe de Floride.

Là, encore, l'activité est en décroissance et les émissions de laves sont rares, et au cours des éruptions, ce sont des projections de cendres et de boues qui causent les désastres enregistrés par l'histoire ; les éruptions sont plus fréquentes que dans l'Amérique du Nord mais presque toujours accompagnées d'émissions boueuses.

Le *Tolima* (alt. 5516 m.) eut des éruptions boueuses en 1595 et 1826 ; en 1902 il cracha des gaz et des cendres.

Le *Puracé* (alt. 4.800 mètres) lança en 1849 une pluie de cendres accompagnée de boues. Sur ses flancs, des fumerolles acides débouchent aux sources du Rio Vinagre dont les eaux nettement acides renferment des acides libres chlorhydrique et sulfurique.

Le groupe de l'*Equateur* renferme de nombreux volcans dont le Cotopaxi en activité constante et le Sangay (altit. 5323 mètres), qui serait le plus destructeur qu'il y eut sur le globe et d'où s'échappent toutes les 20 minutes un jet de gaz entraînant des cendres.

Les groupes du *Pérou*, du *Chili*, de la *Bolivie*, de la *Patagonie*, de la *Terre de Feu* renferment de nombreux cratères éteints.

Leurs laves sont acides et de la famille des Andésites.

La plupart des volcans de l'Amérique du Sud sont très élevés et par suite recouverts de neige et de glace sur leurs flancs, tandis qu'un lac souvent congelé occupe le cratère. D'autre part, le sous-sol renferme de nombreuses cavernes sur le trajet de cours d'eau souterrains. C'est à la neige et à la glace fondues par l'échauffement de la masse du cône et à l'entraînement de l'eau des réservoirs souterrains qu'il faut attribuer les déluges de boues et les éruptions boueuses caractéristiques de cette contrée.

252. Volcans des Antilles. *Ile de Grenade.* — Un vaste cratère entouré d'un grand nombre de cônes adventifs est occupé par un lac.

Saint-Vincent. — Le Morne *Garen* au repos depuis 1718 eut une violente éruption en 1812 ; depuis cette date il est réduit à l'état de solfatare très active et plus connu sous le nom de *soufrière*. Il joua un rôle au cours des désastres volcaniques de l'été 1902.

Sainte Lucie. Le grand cratère de *Qualibon* (altitude 600 mètres, contient plusieurs petits lacs et il émet des vapeurs sulfureuses. La dernière éruption daterait de 1766.

La *Martinique.* — Voir n^{os} **253** et **268**.

La *Dominique.* — Plusieurs solfatares se rencontrent sur cette petite île : on y remarque un lac d'eau à la température de 70° C et en 1880 plusieurs petits cratères s'ouvrirent.

La *Guadeloupe* est formée par la réunion de deux massifs, l'un de nature sédimentaire et l'autre de nature essentiellement volcanique ; la première s'appelle Grande-Terre et la seconde Basse-Terre.

Sur cette dernière se dresse la *soufrière* dont on voit encore aujourd'hui les coulées trachytiques, et dont les dernières éruptions eurent lieu en 1778, 1797, 1812, 1836. De nombreux cratères rejettent actuellement des vapeurs sulfureuses.

Montserrat. — On y voit des fumerolles sulfureuses.

Nièves. — Des vapeurs sulfureuses couronnent la montagne.

Saint-Christophe. — En 1692 le volcan *Misery* eut une éruption ; aujourd'hui son cratère est occupé par un lac.

Saint-Eustache. — On y voit un volcan aujourd'hui éteint.

Un volcan *sous-marin* situé sous 7° latit. N. et 4° long. E. de l'île de Fer, eût sa dernière éruption en 1824.

253. La Martinique. — Au Sud de l'île, est le Morne *Vauclair*, volcan éteint depuis les temps les plus reculés ; vers le Nord, le *Carbet* ou montagne aux cinq pitons et, enfin, plus au Nord, le Mont Pelé.

Les îles des Antilles sont les sommets culminants d'une chaîne immergée, reliant le Venezuela à la Floride et fermant la mer des Caraïbes dans laquelle elles plongent sous une pente moyenne de 25 °/₀.

Le massif volcanique de la Martinique figure un cirque de 50 kilomètres de grand axe. Au centre, se dresse le Carbet, 1207 mètres d'altitude, surmonté de 5 pitons volcaniques. Le Mont Pelé, 1350 mètres d'altitude, portant jusqu'en avril 1902 un cratère, au sommet, occupé par le lac des Palmistes.

Un cratère latéral ou plutôt un gouffre est sur la fissure d'où jaillirent les produits de l'éruption de 1851.

D'après M. de Lapparent, la constitution de l'île, au point de vue volcanique, se serait faite par une éruption d'*andésite à pyroxène*, de couleur sombre, à 56 % de silice, avec cristaux de sanidine et de plagioclase qui forma le squelette de la Montagne Pelée. Puis, un épanchement de *liparite* de couleur gris clair, à 75,67 % de silice, avec cristaux de sanidine, gros individus de quartz bipyramidé et grandes tablettes hexagonales de mica disséminés dans la pâte vitreuse — forma le massif du Carbet. Par la suite, vinrent des épanchements de *basalte à anorthite* et de *dolérite*.

Seul, le Mont Pelé a donné des signes d'activité depuis très longtemps ; il a rejeté des laves andésitiques en 1851 et au cours de l'éruption de 1902-1903 (voir n° **268**), il vomit des cendres, des bombes d'andésite, des boues, mais pas de laves. Il serait donc passé dans la catégorie des volcans explosifs.

254. Volcans des îles de la Sonde. — Il y aurait beaucoup à dire si l'on voulait rapporter les détails des éruptions en nombre incalculable qu'a vues l'homme dans ces régions volcaniques par excellence. Beaucoup causèrent des désastres effroyables auprès desquels les plus fortes éruptions américaines disparaissent.

Néanmoins, nous ne leur consacrerons que peu de lignes, le mode éruptif étant à peu près uniforme dans ces contrées : explosion du cratère, projection de cendres, émission de boues.

De nos jours, les émissions de lave sont très rares.

A *Sumatra* on compte 60 volcans dont 8 actifs.

Le *Merapi* (altitude 2848 mètres) a quelquefois rejeté des laves.

De 1875 à 1878, le *Kaba* a rejeté des cendres qui cou-

vrirent la contrée dans un rayon de 35 kilomètres. Son cratère est aujourd'hui occupé par un lac.

L'île de *Java*, la plus riche de tout le groupe, ne possède pas moins de 120 volcans dont : 6 éteints depuis les temps tertiaires, 12 transformés en solfatares et 17 ayant été le siège d'explosions dans les temps historiques.

Formés par des cônes de débris d'une grande régularité, leur sommet est à une hauteur variant de 1 000 à 3 000 mètres au-dessus des plaines dont l'altitude moyenne ne dépasse pas 600 mètres.

Le *Gedé* remarquable par ses deux cônes accolés, d'une altitude respective de 2 640 et 2 958 mètres, eut plusieurs éruptions de cendres ; il porte des solfatares et des sources chaudes.

Le *Galœengœng* (alt. 2 200 mètres), fut, en 1822, le siège d'une explosion de cendres et de boues délayées dans l'eau du lac formé dans le cratère ; en 1874 il eut une éruption de cendres.

Le *Lemongan* (altit. 1664 mètres), lance des cendres et des vapeurs et, en 1883, peu avant l'éruption du Krakatoa, il eut une éruption de laves.

Le *Semerœ* (alt. 3676 mètres) a rejeté, en 1885, 300 millions de mètres cubes de lave andésitique.

Le *Papandajan* est, depuis son éruption de 1772, transformé en solfatare ; de toutes parts, sortent des jets de vapeurs, de gaz, des dégagements acides, des pluies de boue chaude, avec un bruit infernal.

Les laves de ces volcans sont acides ; ce sont des trachytes et des andésites.

255. — L'éruption du *Krakatoa* (alt. 882 mètres), dans l'île du même nom, fut le plus grand phénomène volcanique que l'histoire eut à enregistrer. Le 20 mai 1883, s'éleva une colonne de fumée haute de 13 kilomètres, puis la lave appa-

rut au fond du cratère, profond de 45 à 50 mètres. Des fissures se produisirent sur le cône principal, et 11 cônes adventifs s'étaient formés au 12 août, qui lançaient des fumées, des cendres et des projections.

Le 20 août, une explosion formidable se produisit, suivie d'un grand nombre d'autres de moindre importance ; pendant quarante-huit heures, la nuit fut complète, troublée seulement par les explosions et les éclairs qui zébraient les nuées en tous sens et sans arrêt. Les projections de débris et de boue continuaient plus fournies et recouvraient la mer d'une barre de pierre ponce, longue de 30 kilomètres, large de 1 kilomètre et épaisse de 4 mètres. L'entrée de la baie de Lampang fut obstruée et les navires en rade, incapables de manœuvrer dans cette mer de ponce, secoués par des vagues gigantesques, inondés de boue et de scories, sans direction, par suite de l'affollement des compas, vécurent une nuit de quarante-huit heures qui faisait croire aux passagers à la fin du monde. Les gaz chlorhydrique et sulfureux rendaient l'air irrespirable.

Les cendres que M. Renard recueillit à Batavia se présentaient sous la forme de grains gris verdâtres, de $0^{mm},1$ de diamètre, et elles étaient formées de fragments vitreux, criblés d'inclusions, de débris de feldspath plagioclase, d'augite, de pyroxène rhombique et de magnétite.

Le 28 août, l'explosion la plus terrible que l'homme eut peut-être entendue, retentit, accompagnant la projection dans les airs d'une partie du cône, en même temps que 20 kilomètres carrés de l'île sur 33 disparaissaient sous les flots à une profondeur de 300 mètres.

On a estimé que, au cours de cette éruption, le Krakatoa projeta 18 kilomètres cubes de débris dont 12 retombèrent dans un rayon de 12 kilomètres autour de la montagne, dont il ne reste plus aujourd'hui qu'un pan démantelé de 800 mètres de hauteur.

L'effondrement des deux tiers de l'île provoqua la formation d'un raz de marée dont les vagues hautes de 15 à 35 mètres ravagèrent les côtes de Sumatra jusqu'à 4 kilomètres à l'intérieur des terres. En arrivant à Colon (Panama) les vagues mesuraient encore $0^m,40$ de hauteur.

Le bruit des explosions fut perçu à 4 775 kilomètres de distance, et la vague de translation consécutive à l'effondrement s'enregistra aux observatoires maritimes de Rochefort, de la Pointe de Galles et de Port Louis. Elle parcourut, pour atteindre ces deux derniers points, de 3110 et 5500 kilomètres, avec une vitesse de $277^m,77$ et $273^m,50$ par seconde (voir n^{os} **21**^{bis}, **22** et **26**).

256. Dans l'île de *Sumbawa* voisine de Java, se dresse le *Timor* qui, le 3 avril 1815, lança 150 kilomètres cubes de cendres et de débris et, du fait, vit son altitude se réduire de 4000 à 2756 mètres. La ville de Sumbawa fut ensevelie avec ses 12000 habitants, et l'île Lembock, à 120 kilomètres de distance, se recouvrit d'une couche de cendres de $0^m,60$, et vit périr ses 44000 habitants.

Dans un rayon de 500 kilomètres, autour de Sumbawa, la mer était recouverte d'une couche de ponce à travers laquelle les navires ne passaient qu'à grand peine.

257. Volcans de la Nouvelle-Zélande. — Parmi les éruptions volcaniques dont cette île fut le théâtre, la plus intéressante est celle du *Tarawera* (alt. 820 mètres), dans le district du même nom, le 10 juin 1886.

Une colonne de cendres s'éleva à 13 kilomètres de hauteur et cendres et sables formés de grains de quartz, de particules vitreuses, de débris feldspathiques couvrirent une superficie de 200 kilomètres carrés.

En même temps, s'ouvrit une fente de 10 kilomètres de longueur, (voir n^{os} **28** et **136**) de Tarawera au lac Okaro,

suivie parallèlement, vers son milieu, par une autre fente de 1 200 mètres de longueur, de 50 mètres de largeur et de 90 mètres de profondeur.

Des cônes de débris jalonnaient la fente principale par lesquels s'échappaient des fumées. La lave n'apparut pas.

Les anciennes éruptions du Tarawera rejetèrent des ryolithes.

258. Volcans du Japon. — Les îles du Japon sont parsemées de volcans ; on en compte aujourd'hui 48 dont 17 en activité et, comme en Australie, les dégats causés par les éruptions sont dus aux cendres et boues, la lave n'apparaissant que rarement. L'éruption se fait par explosion.

En 1783, l'*Asamayama* entra en éruption à peu près à la même époque que les volcans d'Islande ; il émit des laves et ensevelit 48 villages sous ses débris. En 1874, il eut une nouvelle éruption. Il est au centre d'un ancien cratère d'explosion de 20 kilomètres de diamètre.

L'explosion du *Myiyama* coûta la vie à 50 000 personnes.

Un certain nombre de volcans sont transformés en solfatares.

259. Volcans du Kamschatka et des îles Kouriles. — La chaîne volcanique du Japon se prolonge au N.-O. par les îles Kouriles et les monts du Kamschatka jalonnés eux-mêmes par des volcans.

Les îles *Kouriles* comptent une cinquantaine de bouches dont 13 auraient été le siège d'explosions depuis l'année 1653.

Le plus élevé est l'*Adelaid* avec 4 000 mètres d'altitude.

A l'O., la mer est peu profonde, environ 800 mètres ;

A l'E. on trouve très rapidement des profondeurs de 2 000 à 6 000 mètres.

La presqu'île du *Kamschatka* posséderait 38 bouches vol-

caniques dont un certain nombre, en activité de nos jours, éclairent la nuit boréale.

Parmi eux, le *Klioutschewskoï* crache, sans arrêt, des cendres et, dit-on, des laves (voir n° **180**).

De nombreuses fumerolles sont visibles depuis le rivage.

260. Volcans des îles Sandwich. — L'île Hawaï, dans l'archipel des Sandwich, renferme un groupe volcanique dont les manifestations imposantes et l'allure toute particulière méritent d'attirer l'attention.

La superficie de l'île est de 20 000 kilomètres carrés et le sol plutôt bas.

Deux cônes volcaniques s'élèvent, distants l'un de l'autre de 48 kilomètres, le *Mauna Lea* (alt. 4 168 mètres) et le *Mauna Kea* (alt. 4 208 mètres).

Sur le flanc E. du Mauna Lea, à la cote 1 230, se trouve un cratère secondaire dénommé *Kilauea*.

Le cratère culminant du *Mauna-Lea* mesure 6 000 mètres de grand axe et 2 800 mètres de petit axe. Les parois sont verticales et disposées en gradins sur 250 mètres de hauteur.

Les éruptions accompagnées de coulées de laves sont assez fréquentes ; il y en eut 19 de 1832 à 1887 : la lave sort tantôt par le cratère, tantôt par des fissures placées généralement à mi-hauteur du cône.

En 1852, la lave jaillit par une fissure à la cote 1 600, et son jet s'éleva à 200 mètres de hauteur, affectant les formes les plus variées.

Au cours de cette éruption, le Mauna-Lea rejeta 300 millions de mètres cubes de lave.

En 1873, le même phénomène de fontaine jaillissante fut observé dans le cratère central par Lowthian Grey.

Au fond du gouffre, la lave bouillonnait et l'on voyait une colonne de matière liquide, de 50 mètres de diamètre, à la température du rouge blanc, s'élever à 100 mètres de hauteur

et dépasser le niveau des bords du cratère pour retomber en gouttelettes dont la chute produisait un bruit métallique.

Le jeu de cette fontaine ne fut interrompu qu'à de rares moments quand le lac de lave s'éleva, en bouillonnant, de 200 mètres de hauteur.

En 1887, une fissure se forma à 2 000 mètres d'altitude et la lave descendit à la mer distante de 42 kilomètres, qu'elle atteignit en quelques jours. Sur le parcours de la fissure, 15 fontaines jaillissantes de lave se formèrent, dont plusieurs avaient 60 mètres de hauteur de chûte.

On ne s'explique pas le mécanisme de ces jets de lave ; tout d'abord on avait pensé à la pression statique d'une colonne de lave superposée, mais l'allure observée par Green, à l'intérieur du cratère central, détruisit cette explication.

261. — Le cratère de *Kilauea* appelé aussi la *Chaudière* a la forme d'une ellipse dont les dimensions ne peuvent être données qu'approximativement (fig. 41 et fig. 42). Fréquemment, sa forme se modifie, néanmoins on peut avancer que le grand axe mesure 4 900 mètres et le périmètre 12 000 mètres. Il est le résultat d'un effondrement.

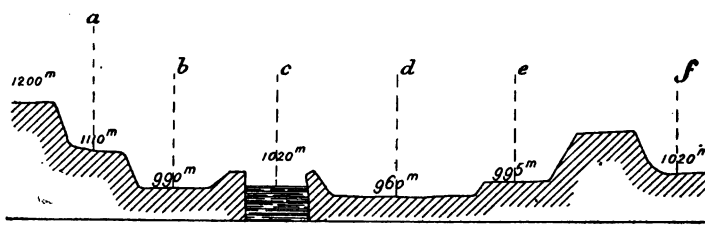


Fig. 41. — Coupe du cratère de Kilauea d'après Brigham.
a, première dépression ; *b*, deuxième dépression ; *c*, chaudière ; *d*, fond du cratère ; *e*, plateau ; *f*, cratère latéral.

Les parois du gouffre sont verticales et disposées en gradins, dont les deux premiers ont environ 200 mètres et 300 mètres de hauteur. En contre-bas de la deuxième dépres-

sion, s'ouvre un gouffre de 300 mètres de diamètre continuellement rempli de lave en ébullition, émettant des vapeurs dans lesquelles M. Jannssen a reconnu le soufre, le sodium, l'acide chlorhydrique, l'hydrogène et les hydrocarbures (fig. 42).

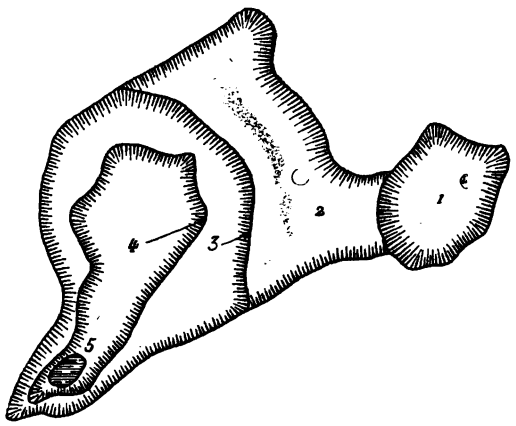


Fig. 42. — 1. Cratère latéral de Kilaneki ; 2. Seuil intermédiaire ; 3. Première dépression ; 4. Deuxième dépression ; 5. Lac de lave.

En outre, la lave est animée d'un mouvement vertical oscillatoire au cours duquel elle projette des scories à 20 mètres de hauteur.

Les phénomènes dont le Kilauea est le siège, consistent, en principe, en élévation du niveau du lac de lave, en effondrements du fond de la chaudière, ces derniers accompagnés parfois de la disparition totale de la lave fondue.

Mais, on a constaté que chaque effondrement a moins d'importance que celui qui le précède et, maintenant, dans son mouvement ascensionnel, la lave tend à déborder et déborde parfois dans la deuxième dépression.

Il faudrait chercher la cause de ces effondrements dans la constitution même du sol de l'île qui, comme le reste de l'archipel, est faite exclusivement de laves et présente des

fissures, des cavités qui, à un moment donné, sont mises en communication avec la lave et *vident* la chaudière pour un certain temps, jusqu'à ce qu'un nouvel apport interne la remplisse à nouveau.

Les faits de 1840 tendent à prouver le bien fondé de cette explication. La chaudière se vida et l'on vit la lave apparaître sur les flancs de la montagne, à des points d'altitude décroissante, tout en restant invisible entre eux. Elle sortit, en particulier, par deux anciens cratères dont le fond était recouvert de végétation, à 10 et 43 kilomètres de la *chaudière* et, de là, gagna la mer. Pendant ce temps, le niveau de la lave dans la *chaudière* baissa de 120 mètres.

Les laves du Mauna Lea et du Kilauea sont des plus fluides que l'on connaisse. Les éruptions se font sans explosions, sans projections de cendres ou débris, sans tremblements de terre. Une grande quantité de gaz est occluse dans la lave et s'en échappe sans bruit, grâce à la grande fluidité du magma.

La lave du Kilauea présente une structure fluidale. Elle est composée de labrador, d'augite, de péridot, de magnétite, d'anorthite, d'augite microlithique et de sphérolithes.

262. Volcans de l'Afrique. — Le continent africain renferme un certain nombre de volcans éteints, pour la plupart, et répartis en trois groupes : l'un au Cameroun, le second sur les grands Lacs jalonnant une fracture et comprenant des géants tels que le *Kenia*, le *Kilimandjaro*, le troisième ayant son centre à Aden.

263. Groupe d'Aden. — Les anciens épanchements sont des trachytes quartzifères et des trachytes à sanidine et à feldspaths tricliniques.

Voici, d'après M. Velain, la composition de ces roches :

Trachyte quartzifère

SiO^2	76,17 %
Al^2O^3	11,95 »
Fe^2O^3	2,78 »
CaO	1,09 »
KO	4,60 »
NaO	3 »

Sa composition est identique à celle du porphyre quartzifère de Schemnitz.

La *Sanidine* des seconds trachytes contient :

SiO^2	63,40 %
Al^2O^3	17,73 »
Fe^2O^3	1,55 »
CaO	0,78 »
NaO. KO	16,66 »

264. — L'île de la *Réunion* renferme deux massifs volcaniques séparés par un plateau de 1 660 mètres d'altitude.

Le premier massif orienté N. N.-O. présente trois vallées qui sont d'anciens cratères d'effondrement et le sol est recouvert de laves anciennes. Il est éteint et son altitude est de 3 069 mètres.

Le deuxième massif de 262 mètres d'altitude est orienté S. S.-E. ; il est en activité.

Formé de deux grands plateaux disposés en cascade, il porte, au centre, deux pitons volcaniques le *Bory* et le *Grand Brûlé*, dont les altitudes sont respectivement de 2 625 et 2 515 mètres.

Ces deux bouches sont formées de cônes de débris injectés de laves, au fond d'un immense cirque qui est lui-même le vestige d'un ancien cratère d'explosion, de 10 kilomètres de diamètre et dont les parois verticales sont faites de

couches de lave superposées, très régulières et horizontales (voir n° **182**).

Dans la plaine, au pied du *Grand Brûlé*, on trouve une lave noire ou gris bleu, rugueuse, avec vacuoles, renfermant des cristaux de péridot, microlithes d'oligoclase, fer oxydulé, augite abondante et remplie d'inclusions vitreuses.

Dans les druses, on trouve des lamelles de fer oligiste associées à de la biotite et des lamelles de tridymite implantées sur des cristaux d'anorthite et d'augite.

M. Velain [1] assigne à cette lave la composition suivante :

SiO^2		57,49 %
Al^2O^3		16,41 »
Fe^2O^3		10,65 »
MnO		0,06 »
CaO		7,52 »
MgO		1,23 »
KO		2,92 »
NaO		3,64 »
D	=	2,79 »

A une altitude supérieure, la lave est riche en anorthite et labrador, et renferme du péridot et du fer oxydulé. On n'y trouve plus d'augite et la texture est devenue vitreuse.

La lave du cratère *Dolomieu* dose 56,20 % de silice, et sa densité est 2,44, analogue à celle du Mauna Lea ; elle renferme des microlithes d'augite et de feldspaths tricliniques, et dégage des fumerolles d'acide chlorhydrique, d'acide carbonique, de vapeur d'eau avec une petite proportion d'acide carbonique, à la température de 72° C.

Voici, d'après M. Velain, la composition des laves du *Grand Brûlé :*

Émissions anciennes : lave à oligoclase ;
» modernes : lave à labrador ;
» actuelles : lave à anorthite.

[1] VELAIN. — *Mission à l'île Saint-Paul.*

On trouve au lieu dit les Avirons (1), une Sanidinite à augite :

SiO^2	62,17 %
Al^2O^3	12,82 »
FeO	5,35 »
CaO	8,25 »
MgO	5,43 »
KO	3,16 »
NaO	2,33 »

Au Bras-Rouge (2), une andésite grenue à augite, fer titané, apatite colorée en vert par de la chlorite :

SiO^2	57,35 %
Al^2O^3	12,80 »
Fe^2O^3	6,16 »
CaO	10,24 »
MgO	3,96 »
KO	2,79 »
NaO	4,57 »
TiO^2	0,83 »
D =	2,83 »

A la base de l'escarpement Renard, une andésite grise d'aspect trachytique, à labrador, augite, fer oxydulé :

SiO^2	49,57 %
Al^2O^3	18,29 »
Fe^2O^3	10,09 »
CaO	15,27 »
MgO	5,31 »
KO	0,82 »
NaO	1,20 »
D =	2,87 »

265. Ile volcanique Saint Paul. — Elle est formée par un cône de lave, en coulées superposées, avec quelques couches intermédiaires de tufs et de scories inclinées à l'extérieur de 20 à 30° (fig. 43 et 44).

(1) Velain. — *Mission à l'ile Saint-Paul.*
(2) Velain. — *Mission à l'ile Saint-Paul.*

Le cratère ébréché est envahi par les eaux de la mer (fig. 44).

A la base, au N.-O., on trouve des laves acides à anorthite, et au-dessus, des laves basiques (fig. 43).

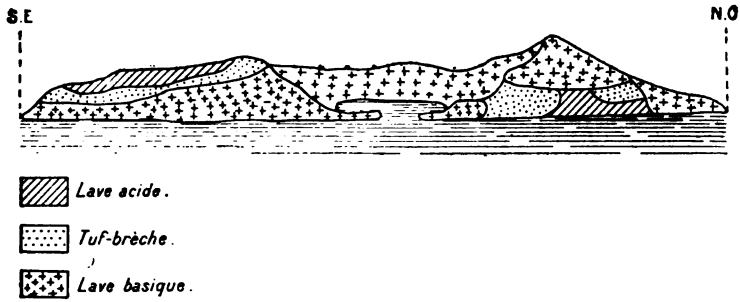


Fig. 43. — Perspective géologique de l'île Saint-Paul, d'après M. Velain.

Hauer assigne aux premières la composition suivante qui en fait des ryolithes :

SiO^2	71,81 %
Al^2O^3	14,69 »
Fe^2O^3	3,97 »
CaO	1,57 »
KO	2,27 »
NaO	2,70 »
D. =	2,40 »

La même roche altérée par les agents atmosphériques renferme :

SiO^2	76,61 %
Al^2O^3	14,88 »
Fe^2O^3	5,02 »
MgO	0,05 »
KO	1,39 »
NaO	1,56 »

Les brèches du N.-O. renferment des perlites, de l'obsi-

dienne et de la ponce, et d'après Hauer, cette perlite serait formée de :

SiO^2	67,53 %
Al^2O^3	12,50 »
Fe^2O^3	4,98 »
Mn^2O^3	0,19 »
CaO	2,15 »
MgO	0,12 »
KO	2,98 »
NaO	0,18 »

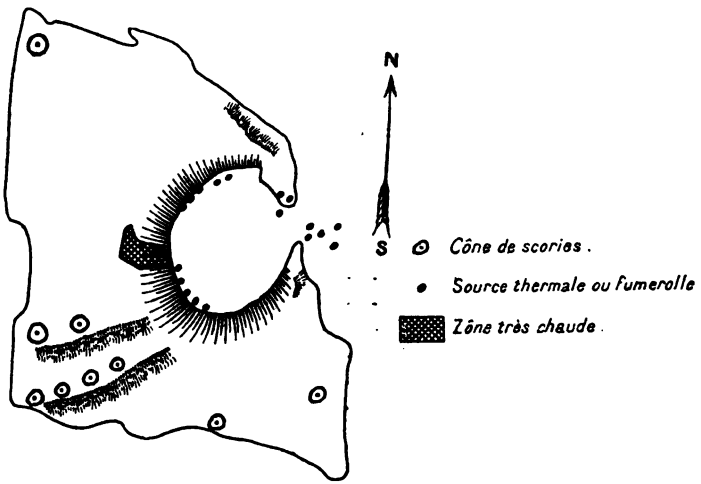


Fig. 44
Plan de l'île Saint-Paul.

Par endroits, les ryolithes sont recouvertes d'un trass volcanique, friable et terreux qui, à la partie supérieure, renferme de l'alunite. La composition de ce trass serait la suivante :

SiO^2	28,60 %
Al^2O^3	33,45 »
Fe^2O^3	2 »
KO	5,42 »
SO^3HO	24,57 »
HO	0,18 »

Les éruptions basiques qui suivirent, ont fourni des dolérites dont le labrador apparaît en gros cristaux. Hauer leur assigne la composition ci-dessous :

SiO^2	51,09	51,69 %
Al^2O^3	18,48	16,26 »
Fe^2O^3	13,49	15,26 »
Mn^2O^3	0,05	0,06 »
CaO	8,72	7,76 »
MgO	4,12	4,37 »
KO	1,78	1,90 »
NaO	1,99	2 »
D =	2,814	2,7 »

266. Ile Amsterdam. — Voisine de l'île Saint-Paul, dans l'Océan Indien, elle est le produit de l'accolement d'une multitude de cônes.

La lave est riche en augite, fer oxydulé et labrador :

SiO^2	59,82 %
Al^2O^3	19,48 »
Fe^2O^3	6,25 »
CaO	5,34 »
MgO	2,26 »
NaO	3,45 »
KO	1,57 »
D	2,79 »

CHAPITRE II

—

LE CATACLYSME DE LA MARTINIQUE EN 1902

267. — L'Ile de la Martinique est située dans les petites Antilles (fig. 27). Elle mesure 65 kilomètres de longueur et 34 kilomètres de largeur ; sa superficie est de 988 kilomètres carrés et sa population de 190 000 habitants (fig. 45).

Elle présente à l'O, des côtes bien découpées et des ports sûrs, tandis que les rivages S. et E entourés de récifs coralliens sont dangereux aux navigateurs.

Depuis les temps les plus reculés le volcan *Vauclair*, au sud de l'île, est éteint, et le volcan du *Carbet* formé d'une coulée de *Liparite* sur laquelle les 5 pitons se dressent n'a pas donné signe de vie dans les temps historiques (voir n° **253**).

Seul le Mont *Pelé*, de 1350 mètres d'altitude, entra souvent en éruption et pour la dernière fois en 1851 avant le terrible cataclysme de mai 1902 dont nous reproduisons un aperçu d'après les documents les plus certains que l'on possède à ce jour.

A la suite d'une série de secousses de tremblements de terre, le 3 avril 1902, le mont Pelé se couvrait d'un panache de fumée, la température des sources et des rivières s'élevait tandis que des vapeurs sulfhydriques sortaient en différents points

du sol, notamment du gouffre latéral creusé en 1851. Des détonations, des grondements souterrains accompagnaient ces manifestations prémonitoires, des orages éclataient et la température restait étouffante.

Fig. 45. — Carte de l'île de la Martinique.

De nombreuses fissures datant des éruptions précédentes avaient leurs parois mouchetées de cristaux d'alun, de soufre, d'acide borique elles montraient nettement ainsi que le volcan n'avait pas encore vécu toute sa phase solfa-

tarienne, pour entrer dans l'éternel repos. Les dégagements gazeux se faisaient plus abondants et les populations disséminées dans la montagne durent descendre au pied du Mont Pelé à Saint-Pierre.

La colonne de fumée monte maintenant majestueuse à plusieurs kilomètres dans les airs, les cendres plus abondantes couvrent toute la région et s'abattent sur le pont des navires passant au large, pendant que les détonations souterraines deviennent plus fréquentes et plus violentes.

A ce moment, les fumerolles ont nettement *avancé* et M. Le Prieur, pharmacien militaire, décèle la présence de l'acide sulfhydrique dans les émanations, au pied de la Montagne, et celle de l'acide chlorhydrique, à une altitude plus élevée, près de la Rivière Claire. En même temps des boues acides et dégageant en abondance des vapeurs sulfureuses commencent à descendre.

Le 18 avril, le foyer volcanique du Guatemala entre en activité, et rappelons en passant que presque toujours les séismes, dans cette région, ont une répercussion aux Antilles. Ainsi, le 26 mars 1812, un tremblement de terre violent détruisit Caracas et, le 30 avril suivant, l'île de Saint-Vincent était violemment secouée, en même temps que sa *soufrière* entrait en éruption.

Et, à partir du 2 mai, à la Martinique, la pluie de cendres s'accentue, les émanations de vapeurs deviennent plus abondantes, les bruits souterrains augmentent d'intensité et des projections sont lancées pour la première fois sous forme de bombes et de boues qui, le 5 mai, ensevelissent l'usine Guérin.

Le 8 mai, se produisait la catastrophe de Saint-Pierre que l'on trouvera décrite plus loin et au cours de laquelle 30 000 personnes trouvèrent la mort.

Le 20 mai une nouvelle éruption achevait de renverser les quelques maisons de la ville restées debout.

La plaine, vers Saint-Pierre, supporte une couche de cendres renfermant 70 % de fer oxydulé, si épaisse que les compas des navires passant au large sont affolés.

Le 9 juillet, une nouvelle éruption eut lieu avec projection de débris qui tombèrent jusqu'à Fort-de-France.

Le 30 août, de nouveau, le volcan eût une crise au cours de laquelle la partie nord de l'île fut recouverte de boues et de débris ensevelissant 3 000 personnes, tandis que le rivage s'effondrait sous la mer sur une longueur de plusieurs kilomètres.

Pendant toute cette période, les volcans des îles voisines ne restèrent pas inactifs.

La soufrière de l'île de *Saint-Vincent* eut plusieurs éruptions (voir n° **277**) les soufrières de la *Dominique*, de la *Guadeloupe* eurent des réveils subits, mais de courte durée.

Nous ne décrirons pas les ruines de Saint-Pierre et les scènes d'horreur qui se produisirent, et nous laisserons à M. Lacroix, professeur de minéralogie au *Museum d'Histoire Naturelle de Paris*, chef de la mission française envoyée sur les lieux par le Gouvernement, le soin de nous décrire le côté technique du cataclysme.

269. Rapport de MM. Lacroix, Rollet de l'Isle et Giraud (1). — Au moment où nous rentrons en France, nous avons l'honneur de présenter à l'Académie un aperçu sommaire des résultats de la première partie de la mission qu'elle a bien voulu nous confier pour l'étude de l'éruption volcanique de la Martinique :

1° Des observations que nous avons faites sur les éruptions de la Montagne-Pelée; 2° de la catastrophe qui a anéanti Saint-Pierre le 8 mai dernier (1902), et de la recherche de ses causes.

(1) C, R. Séances du 8 et du 15 septembre 1902.

Nous compléterons ces premières données au fur et à mesure de l'étude des nombreux matériaux (gaz, minéraux, roches, fossiles, objets divers provenant de Saint-Pierre, etc.) recueillis au cours de notre voyage.

1° *Éruptions de la Montagne-Pelée.* — Nous avons réuni les éléments d'un historique chronologique, aussi complet que possible, de toutes les manifestations volcaniques antérieures à notre arrivée et de celles auxquelles nous avons assisté. Les faits les plus importants en étant déjà connus de l'Académie, nous en réservons la publication pour plus tard et nous présenterons seulement ici nos observations sous une forme synthétique.

Le cratère. — Il est impossible de donner actuellement des détails sur la topographie intérieure du cratère ; il n'est pas directement abordable, d'une part, et d'une autre, pendant tout notre séjour à la Martinique, les nuages, enveloppant continuellement le sommet de la montagne, ont beaucoup gêné nos observations.

Le cratère est situé sur le revers occidental de la Montagne-Pelée et à une altitude de quelques centaines de mètres au-dessous de l'ancien lac des Palmistes. Il est bordé par les crêtes du Morne-la-Croix, du Morne-Martin et du Petit-Bonhomme. Une profonde échancrure en forme de V s'ouvre vers le Sud-Ouest, au-dessus de la rivière Blanche. Par cette échancrure, on distingue un haut talus fort raide, constitué par des blocs de projection de l'éruption actuelle ; grâce à leur incandescence, on les voit rouler pendant la nuit, à sa surface.

Nous avons, à trois reprises différentes, atteint les falaises qui dominent le cratère ; à l'Est (par l'ancien lac des Palmistes), au Sud-Est (du côté du Morne-Rouge, par le Morne-Aileron et le Morne-Ponce), et enfin, au Sud (par le Morne-Saint-Martin). Malheureusement, à partir de l'altitude de 900 mètres, nous avons été enveloppés par le brouillard et,

arrivés au terme de nos ascensions, nous avons dû nous contenter de constater les parois verticales vers l'intérieur, le dégagement intense d'acide sulfureux et de vapeur d'eau, et, enfin, l'extrême abondance des blocs projetés, des bombes de toutes dimensions, qui, sur ces hauteurs, recouvrent entièrement le sol.

Lors de l'ascension de l'ancien lac des Palmistes, effectuée le 29 juin, nous avons trouvé ce lac entièrement comblé par une boue fine et gluante, de laquelle émergeaient d'énormes bombes d'andésite vitreuse.

Un violent orage ne nous a pas permis d'atteindre le sommet du Morne-la-Croix ; nous nous sommes arrêtés à une éminence constituée par une andésite rouge, ayant une altitude de 1 270 mètres ; nous avons distingué dans le brouillard un sommet un peu plus élevé, constitué par le Morne-la-Croix. Quelques jours après (6 juillet), étant mouillés en rade de Saint-Pierre, à bord du *Jouffroy*, nous avons vu émerger des nuages, pendant quelques minutes, le point culminant de la Montagne-Pelée. Le second du bâtiment, M. Deville, en a pris la hauteur, qu'il a trouvée de 1 353 mètres, c'est-à-dire la hauteur normale du Morne-la-Croix, avec une légère erreur par excès, qui s'explique par les conditions dans lesquelles la mesure a été faite. Le sommet de la Montagne-Pelée n'était donc pas à cette date complètement effondré, comme on l'a affirmé à l'origine de l'éruption. Des modifications se sont cependant certainement opérées dans le voisinage du cratère au cours de notre séjour. Les photographies de la grande crevasse Sud-Ouest que nous avons faites à de nombreuses reprises, nous permettront de préciser la nature et l'importance de ces modifications.

Formation de fissures. — L'éruption actuelle n'a été caractérisée par l'ouverture d'aucune fente béante en dehors du cratère ; mais l'existence de fissures est mise en évidence

par de nombreuses fumerolles qui seront étudiées plus loin. Leur direction générale est Nord-Est-Sud-Ouest. Le plus grand nombre d'entre elles sont localisées dans une zône assez étroite, comprise entre le lît de la rivière Sèche et celui de la rivière Blanche ; il est possible que les fumerolles situées sur le bord de la côte, entre la rivière Sèche et la rivière de l'habitation Canonville, jalonnent une seconde direction de cassures secondaires Nord-Nord-Est, coupant la première. Nous avons constaté que les fumerolles de la rivière Blanche ne sont pas limitées à la terre ferme ; elles se prolongent dans la mer, et il n'est pas sans intérêt, à ce point de vue, de faire remarquer que c'est sensiblement sur leur prolongement que des ruptures du câble sous-marin ont eu lieu à 10 milles environ de la côte, le 5 et le 30 mai, le 8 juillet. Lorsque, le 11 juin, on a relevé le câble rompu le 30 mai, le goudron de celui-ci coulait en larmes, bien qu'il fût ramené d'une profondeur de 1 200 brasses. Enfin, le matin du 5 mai, avant la catastrophe de l'usine Guérin (date de l'apparition des fumerolles dans la vallée de la rivière Blanche), une grande quantité de poissons morts a été recueillie à la surface de la mer dans cette même direction ; à la fin de juin, nous y avons nous-mêmes trouvé, morts sur la côte, de petits poissons plats appartenant à des espèces qui vivent habituellement vers 200 mètres de fond.

Les produits du volcan. — D'une façon générale, les éruptions volcaniques sont caractérisées par deux sortes de phénomènes :

1° Par la sortie explosive de gaz, de vapeurs et de matériaux silicatés solides ou fondus, plus ou moins volumineux, portés à une très haute température ;

2° Par l'épanchement de ces mêmes silicates fondus sous forme de coulées ou d'amas.

Jusqu'à présent, ce second ordre de phénomènes a manqué totalement dans l'éruption actuelle. De nombreux

récits publiés parlent de coulées de lave épanchées dans le lit de la rivière Blanche et dans celui de la rivière Sèche ; ce qui a été désigné sous ce nom par des personnes étrangères à la géologie n'est pas des coulées de lave, mais des torrents d'eau boueuse chaude, roulant de gros blocs de roches.

Comme à l'ordinaire, l'éruption actuelle se signale par des séries nombreuses d'explosions, parmi lesquelles quelques-unes ont été d'une très grande violence. Il y a lieu de signaler d'une façon spéciale celle du 8 mai qui a détruit Saint-Pierre et celle du 20 mai qui a parachevé cette œuvre de destruction, celles du 6 juin et du 9 juillet qui, comme les précédentes, ont donné des manifestations visibles de Fort-de-France. Ces paroxysmes se sont, comme on le voit, produits à des intervalles inégaux ; ils ont été séparés les uns des autres par des périodes de calme relatif pendant lesquelles les projections de cendre étaient de peu d'importance ou même nulles.

Nous allons considérer successivement les produits volatils et les produits solides rejetés.

Produits gazeux. — Les poussées de gaz et de vapeurs émanées du cratère ont la forme classique ; leur sortie est souvent accompagnée de grondements ou de détonations. Elles s'élèvent verticalement, souvent à une grande hauteur, et s'inclinent ensuite dans la direction du vent, qui venait pendant notre séjour d'une façon presque constante de l'Est-Nord-Est. Parfois, elles atteignent la région supérieure des contre-alizés, qui les entraînent alors vers le Sud. C'est ce qui a eu lieu lors des grandes éruptions et c'est ce qui a permis aux nuages volcaniques d'arriver jusqu'au-dessus de Fort-de-France.

Ces poussées explosives, essentiellement constituées par de la vapeur d'eau accompagnée de gaz, sont, le jour, blanches, rousses ou noires, suivant qu'elles tiennent en

suspension une plus ou moins grande quantité de cendres. On observe par l'ouverture Sud-Ouest du cratère, des vapeurs ayant un aspect un peu différent des précédentes ; ce sont des flots d'une vapeur épaisse, lourde, de couleur sombre, fréquemment cuivrée, qui roulent sur les talus antérieurs du cratère et jusqu'au fond des crevasses aboutissant à la rivière Blanche.

Elles sont probablement constituées par des bouffées de gaz et de vapeur d'eau très riches en cendres.

Les vives *lueurs* qui ont été signalées par les témoins des grandes éruptions paraissent dues aux matériaux solides (*lapillis* et *blocs*) incandescents, projetés avec les gaz et les vapeurs. Nous avons constaté, pendant les nuits que nous avons passées devant le volcan, des lueurs immobiles siégeant sur le bord du cratère et provenant sans doute de la réverbération des matières incandescentes qui y sont accumulées. Des points lumineux plus brillants et mobiles étaient dus à la chute de blocs projetés roulant à la surface des talus du cratère.

Nous n'avons pas vu personnellement les *flammes* qui ont été signalées par divers observateurs au cours des grandes éruptions.

Les seules données positives sur les gaz émis par le cratère en même temps que la vapeur d'eau concernent l'acide sulfureux, dont la grande abondance est mise en évidence par son odeur suffocante. Il est d'ailleurs nécessaire d'aborder les crêtes mêmes de la montagne pour les apercevoir d'une façon absolument évidente.

Fumerolles. — Par contre, il nous a été possible d'étudier les nombreuses fumerolles plus accessibles qui se rencontrent dans la vallée de la rivière Blanche, depuis son origine jusqu'à la mer, et dans la partie inférieure du cours de la rivière Sèche ; elles jalonnent la direction de fractures dirigées Nord-Est-Sud-Ouest dont il a été question plus haut.

Quelques-unes des fumerolles se rencontrent dans le lit même de ces deux rivières, et notamment près de leur embouchure. Mais le plus grand nombre d'entre elles sont disposées, isolées ou par groupes, sans ordre apparent, dans toutes les parties de la vallée de la rivière Blanche, et plus au Nord, jusqu'à la rivière située près de l'habitation Canonville. Notons enfin qu'une fumerolle isolée a fonctionné jusqu'aux premiers jours de juillet à l'embouchure de la rivière des Pères.

Toutes ces fumerolles sont, on le voit, distribuées ou localisées sur le revers Sud-Ouest de la Montagne-Pelée ; nous parlerons plus loin d'une fumerolle qui a été observée aux alentours du 20 mai sur son revers Est, près de l'Ajoupa-Bouillon, mais qui n'a pas fonctionné pendant notre séjour.

Les fumerolles que nous avons étudiées se comportent très différemment, suivant qu'elles aboutissent à l'air libre ou qu'elles débouchent dans le lit des rivières.

Celles qui se font jour dans les conglomérats volcaniques, au milieu de la cendre ou dans les fissures du sol ancien, ne donnent relativement que peu de vapeur d'eau ; celle-ci n'est souvent pas apparente au soleil ; mais il suffit d'en intercepter les rayons, en recouvrant l'orifice avec un morceau d'étoffe, par exemple, pour qu'elle devienne immédiatement perceptible. Ces fumerolles ont, en général, une température oscillant autour de 100°C. Elles contiennent une assez grande proportion d'hydrogène sulfuré, dont la décomposition détermine à l'orifice de sortie des cristallisations de soufre.

Des fumerolles plus chaudes accompagnent parfois les précédentes ; leur température, à $0^m,10$ de profondeur à partir de la surface du sol, est voisine de 400°C. Le plomb y fond en effet facilement, alors que le zinc reste intact ; un thermomètre gradué jusqu'à 410°C. y a été brisé à bloc. A leur émergence, ces fumerolles donnent d'abondantes cris-

tallisations de sel ammoniac, accompagné par un peu de soufre et plus rarement de réalgar.

Les fumerolles exclusivement sulfurées se rencontrent jusqu'au bord de la mer; elles sont particulièrement abondantes entre la rivière Blanche et la rivière Sèche, à environ mi-chemin entre la côte et le cratère. Nous n'avons observé les fumerolles à sel ammoniac qu'à partir de 800 mètres environ de la côte. Elles deviennent plus abondantes dans la haute vallée de la rivière Blanche.

Les fumerolles dont il vient d'être question, à l'inverse de celles dont il nous reste à parler, ont une force ascensionnelle extrêmement faible; on les voit ramper à la surface du sol sans s'élever; elles fonctionnent sans interruption.

Du 22 juin au commencement de juillet, nous avons vu des fumerolles intermittentes fonctionner avec une grande activité dans le lit de la rivière Blanche, de la rivière Sèche, et particulièrement à leur embouchure (mais aussi dans le cours supérieur de la rivière Blanche), ainsi qu'à l'embouchure de la rivière des Pères et à celle de la rivière de l'habitation Canonville.

Ces fumerolles fournissaient une colonne de vapeur d'eau très blanche qui s'élevait de temps en temps avec une force ascensionnelle assez grande, donnant de nombreuses volutes qui bientôt redescendaient à la surface de la mer ou du sol. Le phénomène se compliquait souvent par l'éboulement des falaises de cendres, de boue et de conglomérats volcaniques encaissant la rivière, éboulement facilité par l'existence de nombreuses petites fumerolles distribuées dans leur masse. La cendre et la boue ayant une température voisine de 100° C. étaient très fluides et facilement entraînées par les bouffées de vapeur d'eau; celle-ci constituait alors des volutes plus denses que les précédentes, teintées de gris ou de rosé.

Les périodes d'activité de ces fumerolles ne nous ont pas paru liées d'une façon constante avec les poussées émanées

du cratère, car, s'il y avait parfois poussée d'ensemble aux fumerolles et au cratère, dans d'autres cas, leurs maximum d'intensité ne coïncidait pas. Dans la semaine qui a précédé l'éruption du 9 juillet, les fumerolles de la côte avaient beaucoup diminué d'intensité : elles n'ont presque pas fonctionné jusqu'à la fin de juillet.

Nous avons pu, à plusieurs reprises, approcher à quelques mètres des points de sortie des grandes fumerolles des rivières Blanche et Sèche. Ces rivières coulaient alors étroitement encaissées entre des falaises de conglomérat récent, depuis lors à peu près disparues. Nous avons pu voir la rivière (ou plutôt le petit torrent) s'engouffrer en bouillonnant dans une cavité de peu d'étendue située au pied d'une des falaises qui s'éboulait facilement, rendant ainsi l'eau de plus en plus boueuse. Par intermittences, une bouffée de vapeur sortait, donnant les volutes décrites plus haut; elle était parfois accompagnée d'un jet d'eau boueuse. Dans les fumerolles situées à quelques mètres de la côte, nous avons constaté non seulement l'engouffrement de l'eau du torrent dans la cavité de sortie de la fumerolle, mais encore une aspiration de l'eau de mer voisine, aspiration rendue manifeste grâce à la présence, à la surface de la mer, de nombreuses épaves de bois qui venaient s'accumuler au point de sortie de la fumerolle pour en être rejetées ensuite au moment des explosions.

Emission d'eau boueuse. — Les crues violentes et subites de la rivière Blanche et de la rivière Sèche produites au commencement de l'éruption, sans rapport immédiat avec des pluies, ont fourni une grande quantité d'eau boueuse noire ; elles ont été attribuées à des éruptions boueuses, ayant eu lieu dans les hautes vallées de ces rivières. Nous n'avons pas assisté à des phénomènes de cette ampleur, mais nous avons pu constater de faibles irrégularités de débit et, en divers points du cours de la rivière, des bouillonnements

indiquant la réalité d'une arrivée d'eau ascendante sans dégagement de vapeurs : des fragments de cendre jetés à l'orifice de ces bouches de sortie en étaient immédiatement rejetés.

Nous avons pu, en outre, étudier de petites éruptions boueuses au sud de la rivière de l'habitation Canonville. On voyait encore, dans cette région, à la fin de juillet, un très grand nombre de petits cônes de boue grise, parfaitement réguliers, avec une cavité cratériforme tout à fait schématique : leur hauteur atteignait 1 mètre. Nous en avons vu sortir, à plusieurs reprises, des bouffées de vapeur d'eau.

Enfin, on rencontre aussi en divers points de la région comprise entre les deux rivières, et notamment au voisinage du groupe de fumerolles sulfhydriques situé à mi-chemin entre la mer et le cratère, de larges flaques de boue grise ou rosée dont la surface est parsemée de petites cavités produites par la sortie de vapeurs.

Cause de la variation de température des rivières. — C'est à la présence de ces fumerolles et de ces sorties d'eau boueuse, distribuées dans leur lit, qu'il faut attribuer les variations de température de l'eau de ces rivières ; ces variations sont incessantes ; c'est ainsi qu'à quelques heures de distance nous avons constaté, près de l'embouchure de la rivière Blanche, des températures de 69°C., puis de 35°C. Un autre jour, à environ $2^{km},5$ de la côte, le thermomètre, plongé au point d'émergence d'une source boueuse, indiquait 84°C., alors que la température n'était que de 34°C. en aval [1].

[1] Le 20 mai, on a signalé dans le lit de la rivière Falaise, tout près de l'ancien camp de Trianon (à quelques kilomètres de l'Ajoupa-Bouillon), l'apparition d'une fumerolle qui, à diverses reprises, aurait donné de grandes quantités de boue chaude. Lors de la crue qui a dévasté (30 mai) les usines de Vivé, à l'embouchure de la rivière Capot, dont la Falaise est un affluent, l'eau avait, paraît-il, une température plus élevée que la normale. Notons en passant que, lors de la dernière crue de la rivière de la

Cendres. — Les cendres ont été rejetées à chaque éruption, mais la quantité totale jusqu'au 1er août était en somme assez peu considérable. Leur dispersion est en grande partie fonction du vent; elles ont été surtout entraînées dans le secteur dévasté compris entre l'îlot de la Perle et le Carbet; pendant notre séjour, elles étaient surtout rejetées dans la direction du Prêcheur ; il est difficile de déterminer leur épaisseur totale, mais au Prêcheur, dans les parties qui n'ont pas été ravinées, il ne semble pas que celle-ci ait dépassé 25 centimètres. Lors des fortes éruptions, les cendres ont été disséminées sur toute l'île. Dans les premiers jours de juillet, on en observait encore des traces appréciables au Nord de la rivière Pilote.

Les phénomènes d'érosion ont entraîné très rapidement ces cendres dans les bas-fonds ou même à la mer, et l'on peut prévoir le temps très rapproché où il n'en restera plus trace sur les flancs de la Montagne-Pelée, si la poussée éruptive ne se poursuit pas longtemps et ne change pas de caractère.

Le grain de ces cendres est assez variable suivant les éruptions et naturellement suivant la distance du cratère où on les recueille. Tantôt elles ont été extrêmement fines : tel est le cas de celles du 3 mai, décrites par l'un de nous; et tantôt elles ont été mélangées de lapillis. La composition minéralogique et la structure de ces cendres n'ont pas varié jusqu'au 9 juillet, mais celles qui ont été produites à cette date étaient plus blanches et plus ponceuses. Ces cendres extrêmement légères, ainsi que les boues de la partie inférieure de la vallée de la rivière Blanche, étaient, dans les parties chauffées par les fumerolles, soulevées par le vent;

Basse-Pointe, on a indiqué également une élévation de température de l'eau, phénomène qui peut être dû à la production de fumerolles ou d'émissions boueuses dans la haute vallée de cette rivière. Pendant tout notre séjour, il ne s'est produit aucune manifestation de ce genre.

elles formaient alors des nuages secs, très épais, courant à la surface du sol ; ceux-ci ont, à plusieurs reprises, beaucoup entravé nos excursions ou même les ont interrompues.

Lapillis. — Tandis que les cendres ont été rejetées fréquemment lors d'explosions peu importantes, les lapillis n'ont été constatés en dehors du voisinage immédiat du cratère que dans les grandes explosions. Ils sont constitués par de petits fragments anguleux d'andésite à hypersthène (généralement très vitreux, mais riches en phénocristaux), ou par des fragments de la même roche arrachés à la cheminée du volcan et provenant d'éruptions anciennes.

Des fragments de 1 centimètre cube ne sont pas rares parmi ceux recueillis au Carbet, et exceptionnellement ils y atteignent des dimensions plus grandes. Des fragments analogues sont tombés jusqu'à Fort-de-France et au François le 8 et le 20 mai.

Le 9 juillet, le caractère des lapillis a changé ; ils sont devenus moins compacts, poreux, constitués par de la ponce. Leur aire de distribution a été beaucoup moins grande que celle des lapillis des grandes éruptions précédentes. Par contre, les fragments d'assez grande taille sont parvenus plus loin ; des ponces anguleuses de 5 centimètres de côté ont été trouvées au Morne-Rouge. La présence de ces ponces et des cendres blanches a donné, pendant plusieurs jours, un aspect très curieux aux flancs Ouest et Sud-Ouest de la Montagne-Pelée, uniformément couverts d'une couche blanche. Le peu d'épaisseur de ces cendres et lapillis, joint à leur densité faible, explique pourquoi, au bout de quelques jours, ces matériaux du 9 juillet avaient presque entièrement disparu des pentes supérieures de la montagne [1].

[1] Ces ponces de l'éruption actuelle sont très analogues à celles qui constituent le tuf ponceux ancien de la Montagne-Pelée, mais la couleur de ces dernières est généralement plus ou moins jaunâtre. La partie Sud des mines Saint-Pierre est actuellement ensevelie par des ponces jaunes anciennes que les pluies torrentielles entraînent du Morne d'Orange.

Bombes. — Des blocs de matière fondue de dimensions variées, mais pouvant dépasser 1m,3, ont été projetés par le volcan. On ne les trouve guère en place qu'à 800 mètres environ des bords du cratère ; ils forment sur le sol, au voisinage immédiat de celui-ci, une couche continue de blocs incohérents qui rend parfois l'ascension pénible. Ces blocs ont été souvent entraînés sur les pentes de la montagne, soit par la simple action de la pesanteur au moment de leur chute, soit par l'érosion postérieure.

Les bombes que nous avons observées le 29 juin dans l'ancien lac des Palmistes sont constituées par l'andésite à hypersthène vitreuse ; elles sont fragiles et ont souvent un volume énorme ; celles, au contraire, que nous avons recueillies avant le 9 juillet, au voisinage du cratère, sont d'un gris noir ; leur surface est entamée par de profondes fentes de retrait, indiquant qu'elles ont été projetées à l'état pâteux. Elles présentent tous les passages possibles de l'andésite vitreuse aux blocs de ponce blanche, sans craquelures superficielles, qui sont très abondants au milieu d'elles.

Conglomérats volcaniques. — Les bombes, les lapillis et les cendres de l'éruption actuelle entraînés par les eaux dans les dépressions et dans le lit de la rivière Blanche constituent des conglomérats, les uns essentiellement formés d'andésite vitreuse compacte, les autres de ponce blanche ; nous décrirons ultérieurement les particularités qui les caractérisent.

Il existe à l'embouchure des rivières Blanche et Sèche un conglomérat d'une autre nature, raviné par les précédents et qui s'est produit dans des conditions différentes. On sait que le 5 mai le barrage de l'étang Sec s'est rompu, donnant passage à une avalanche de boues et de blocs énormes qui, renversant tout sur son passage, a détruit l'usine Guérin et les habitations voisines. Les lits inférieurs des deux rivières ont été remblayés par cet apport de matériaux qui a fait,

en outre, avancer le rivage d'environ 30 mètres sur la mer. Des érosions considérables ont depuis lors entamé ce conglomérat et permettent d'en étudier la structure. On le voit reposant sur le sol ancien raviné ; il est constitué par une succession de lits de cendres grossières, de bancs de gros blocs avec des lits de cendres boueuses, à stratification torrentielle, puis de gros blocs mélangés sans ordre. La partie supérieure de la formation, constituée par les blocs de plus grande taille, les uns anguleux, les autres roulés, rappelle par son aspect une moraine glaciaire. Quelques-uns de ces blocs ont une surface polie et son couverts de stries ou plutôt de cannelures qui, elles, diffèrent tout à fait des stries glaciaires et méritent d'être signalées d'une façon toute spéciale. Elles sont constituées par des surfaces de frottement rectilignes, dans lesquelles la roche a été écrasée tout en restant très cohérente. La partie extérieure en est vernissée, plus foncée et couverte de fines stries ; elle rappelle les miroirs de frottement.

La constitution pétrographique des blocs de ce conglomérat est uniforme ; tous ceux-ci sont formés par l'andésite poreuse grise ou rouge que nous connaissons en place dans les parties hautes de la Montagne-Pelée. On n'y trouve aucun bloc de l'éruption actuelle.

Phénomènes divers consécutifs à l'éruption : Modifications topographiques. — Nous avons indiqué plus haut que quelques modifications topographiques se sont produites au voisinage du cratère. Nous chercherons à les préciser au cours de notre prochain voyage, qui sera effectué au cours de la saison sèche.

Par contre, on peut affirmer que, en dehors de celles-ci, la topographie des hautes vallées de la Montagne-Pelée n'a pas subi de changements sensibles. Ces vallées se présentent, il est vrai, avec un aspect totalement différent de celui qu'elles possédaient avant l'éruption ; mais cela tient sur-

tout à la disparition complète de la végétation tropicale qui les couvrait et masquait en partie leurs ravins profonds. Aujourd'hui, la montagne apparaît avec la crudité d'une carte en relief, accentuée encore par des érosions superficielles. Celles-ci ont fait disparaître sur toutes les hauteurs la terre végétale et mis à nu le conglomérat ponceux ancien [1] qui constitue les parties superficielles de la Montagne-Pelée ; il n'est plus que çà et là recouvert par les cendres de l'éruption actuelle. La zone ainsi dévastée, s'étend sur toute la périphérie du cratère, dans un rayon de 2 kilomètres à 3 kilomètres, et en outre dans un secteur compris entre le cratère, le bourg de Sainte-Philomène et Saint-Pierre.

Les parties basses des rivières Sèche et Blanche, au voisinage de leurs embouchures, ont eu, au contraire, leur topographie entièrement bouleversée par les avalanches boueuses du 5 mai. Elles ont été alors entièrement remblayées par le conglomérat décrit plus haut.

Depuis cette date, ces rivières se creusent rapidement un lit dans ce conglomérat et dans les boues qui l'accompagnent. L'absence d'un thalweg bien défini dans ces parties comblées empêche l'établissement d'un lit définitif, et nous avons vu leur embouchure se déplacer fréquemment.

Modifications du rivage. — Nous n'avons constaté nulle part d'affaissement ni d'exhaussement du rivage. A Saint-Pierre, notamment, il ne s'est produit aucun mouvement appréciable de cette espèce ; la topographie et le tracé de la côte Ouest de l'île, au voisinage du volcan, n'ont subi que les quelques changements suivants : le littoral entre la rivière Sèche et la rivière Blanche, sous l'action des fumerolles, des crues et des changements de lit des rivières dont

[1] Le conglomérat ponceux, dans ses parties dénudées, présente d'une façon constante de profondes cannelures à surface lisse ; elles sont parallèles à la ligne de plus grande pente et ont été produites par la friction des flots qui ont *raboté* les pentes.

il vient d'être question, enfin sous l'action de la vague, subit des variations incessantes qui, d'ailleurs, paraissent surtout s'exercer aux dépens des apports datant du 5 mai.

C'est ainsi que nous avons vu presque complètement disparaître, à la suite du 9 juillet, les petites falaises formées par le conglomérat de l'usine Guérin. Nous avons observé depuis lors, à leur place, de petits caps, remplacés en quelques jours par de petites baies et *vice-versa*. Des fumerolles constatées sur le bord du rivage un jour, étaient, le lendemain, observées à la même place, se dégageant sous l'eau de mer (à une profondeur de 6 mètres à 10 mètres) ; elles en élevaient localement la température.

Ces diverses modifications intéressantes à signaler n'ont, du reste, qu'une minime importance ; elles ne s'observent que sur quelques centaines de mètres à peine. Il y a lieu de signaler encore l'élargissement de l'embouchure de la rivière des Pères et de celle des ruisseaux situés entre le Prêcheur et la rivière Blanche.

Action des rivières torrentielles. — Dans toute la région entièrement dévastée, le déboisement est total, toute végétation a disparu ; aussi les pluies très abondantes, n'étant retenues par rien, déterminent la formation soudaine de torrents violents dont la puissance dynamique est considérable. Ils entraînent tout sur leur passage, d'autant plus que la cendre de l'éruption actuelle n'offre aucune résistance et que le substratum de la Montagne-Pelée, essentiellement constitués par des tufs et des conglomérats, se prête d'une façon toute spéciale à l'érosion. C'est ainsi qu'à diverses reprises la rivière du Prêcheur, celle de la Basse-Pointe, la rivière Falaise ont pu rouler des blocs de 10 mètres cubes.

Les effets dévastateurs de ces torrents peuvent surtout s'observer à la Basse-Pointe, où toutes les maisons des parties basses du bourg ont été emportées et le lit de la rivière

remblayé par $4^m,50$ de blocs et de débris de toutes sortes [1]. Des phénomènes analogues s'observent au Prêcheur, dont les maisons sont emportées une à une par des torrents qui creusent des ravines profondes à travers le bourg.

Sur la côte Est, ces torrents ont produit des atterrissements importants à leur embouchure et ont étendu le delta ; de nombreux matériaux ont été en outre transportés par le courant littoral dans les baies situées au Nord de ces embouchures. C'est ainsi qu'à la Basse-Pointe il s'est formé une barre de 100 mètres environ, obstruant entièrement la baie, où l'on avait construit récemment un embarcadère et un brise-lames.

Variations du fond de la mer. — Des sondages en mer, effectués aux points où les anciens chiffres portés sur les cartes marines permettaient de contrôler les nouveaux, n'ont mis en évidence aucune modification des fonds, aussi bien au large que dans le voisinage de la côte. On a vu plus haut que les ruptures du câble semblent indiquer la production de fissures sous-marines ; il est vraisemblable qu'elles se sont produites sans dénivellation sensible, tout comme celles de la terre ferme.

Raz de marée. — Des mouvements anormaux du niveau de la mer ont été observés sur les côtes de l'île. Ces mouvements consistaient uniformément en cinq ou six ondulations successives, séparées par des intervalles de 5 minutes environ et d'une amplitude décroissante.

Le plus important paraît s'être produit le 8 mai et a coïncidé, autant qu'on a pu le constater, avec l'instant de l'éruption. Il a commencé à Fort-de-France par un retrait

[1] Nous avons indiqué plus haut que des fumerolles et des sources d'eau boueuse ont été signalées dans le lit de la Falaise et de la rivière de Basse-Pointe ; il est possible qu'elles aient joué un rôle dans plusieurs de ces inondations subites survenues avant notre arrivée à la Martinique ; mais nous n'avons, à ce sujet, aucune observation personnelle.

de la mer de 1 mètre environ, suivi d'une montée d'une quarantaine de centimètres au-dessus du niveau moyen. Le phénomène s'est produit également à la Trinité. Il n'a pas été ressenti à la Guadeloupe, où des observations sérieuses ont été faites pendant toute cette période. Il a été plus important à Saint-Pierre, où les bâtiments au mouillage ont talonné plusieurs fois et ont été balayés par la lame. Au Carbet, son amplitude semble n'avoir pas dépassé 2 mètres.

Le 5 mai, il n'a été ressenti qu'à Saint-Pierre et dans les environs immédiats ; il a été plus faible. Des phénomènes analogues ont été constatés le 20 et le 26 mai, le 6 juin et le 9 juillet ; il faut signaler à part celui du 7 mai, qui a été observé également à la Guadeloupe et qui ne correspond pas à une éruption caractérisée : son amplitude n'a pas dépassé 30 centimètres.

Courants. — Du 7 au 10 mai, il a été constaté sur la côte Ouest de l'île un courant d'une vitesse anormale portant au Nord. Il a été observé au large par le *Pouyer-Quertier* le 7 et le long de la côte par divers observateurs. Il était assez violent pour causer des remous dans les baies et des lignes de brisants aux pointes.

Observations météorologiques. — Baromètre. Chaque éruption a produit une oscillation instantanée de la colonne barométrique qui, à Fort-de-France, s'est traduite sur l'enregistreur par un crochet de 1 millimètre à 3 millimètres. Avant et après, la courbe avait sa forme normale ; le trait ainsi tracé est à cheval sur la courbe, mais la baisse est très supérieure à la montée.

Cette oscillation n'a été observée que dans les grandes éruptions du 8 mai (baisse de 3 millimètres), du 20 mai (baisse de $2^{mm},8$), du 6 juin (baisse de $1^{mm},5$) et enfin du 9 juillet (baisse de $1^{mm},3$). Le passage des nuages de cendre au-dessus de Fort-de-France a donné lieu à un abaissement

assez considérable de l'état hygrométrique ; l'inverse a eu lieu le 6 juin (observations de M. Mirville).

Phénomènes électriques et magnétiques. — En dehors des éruptions caractérisées, on a constaté dans les environs immédiats du cratère des phénomènes électriques d'une grande intensité ; ils se manifestaient, comme cela a lieu d'ordinaire dans des cas semblables, sous forme d'éclairs multipliés. Les poussées de vapeur sortant du cratère au moment des paroxysmes étaient également à une tension électrique très élevée ; il en a été de même pour les nuages qui sont venus passer sur Fort-de-France (notamment les 6 juin et 9 juillet) et dans lesquels les décharges étaient continues, présentant toutes les formes connues d'éclairs.

L'appareil de télégraphie sans fil du *Bruix* a été impressionné par chacune des éruptions importantes.

Tandis que pendant les orages il donne une série de points isolés, il a fourni, d'après les indications que nous devons à M. le lieutenant de vaisseau Benoît d'Azy, un trait presque continu lors des éruptions caractérisées.

On sait que des troubles magnétiques ont été constatés dans différents observatoires éloignés de la Martinique lors de l'éruption du 8 mai (voir n° **25**).

270. La catastrophe de Saint-Pierre. — Le fait qui domine toute l'histoire de l'éruption actuelle de la Montagne Pelée est la catastrophe du 8 mai qui, en quelques minutes, a détruit la ville de Saint-Pierre et ses 30.000 habitants, anéanti de nombreuses habitations et les navires qui se trouvaient dans le voisinage.

Nous nous sommes donc préoccupés de rechercher les causes de ce phénomène : pour cette étude, nous nous sommes heurtés à des difficultés nombreuses. Arrivés, en effet, à la Martinique, un mois et demi après l'événement, alors qu'une nouvelle éruption, celle du 20 mai, produite

dans des conditions probablement analogues, était venue parachever l'œuvre de destruction, nous avons dû nous contenter d'étudier les produits volcaniques tombés sur la ville ou à son voisinage, de rechercher les effets mécaniques, calorifiques ou physiologiques produits par le phénomène, de recueillir et de discuter les récits du petit nombre de témoins qui ont survécu, récits qui, d'ailleurs, sont loin d'avoir été toujours concordants (fig. 46).

Nous avons montré antérieurement que les alentours du cratère de la Montagne-Pelée, sur un rayon de 2 kilomètres à 3 kilomètres, sont entièrement dévastés ; d'autre part les cendres projetées par le volcan sont surtout abondantes dans un secteur, situé sur les côtes Ouest et Sud-Ouest de la Montagne-Pelée et compris entre le cratère, l'îlot de la Perle au nord du Prêcheur et le Carbet. Dans ce large secteur, il en existe un autre plus petit, compris à peu près entre le bourg de Sainte-Pilomène et le sud de la ville de Saint-Pierre : la dévastation y a atteint son maximum ; sauf sur ses bords, toute végétation, toute habitation ont été plus ou moins totalement détruites, tous les êtres vivants qui s'y trouvaient le 8 mai au matin ont été tués, à l'exception de quelques rares blessés.

Nous ferons remarquer immédiatement la dissymétrie de cette zone dévastée par rapport au cratère, dyssymétrie qui, jusqu'au 1er août, date de notre départ de la Martinique, a persisté dans les effets des éruptions qui ont suivi celle du 8 mai. Nous noterons, en outre, que la direction des fissures, jalonnée par les fumerolles de la vallée de la rivière Blanche, sert sensiblement de médiane au secteur de la dévastation.

Ces fumerolles, actives depuis le commencement de l'éruption, sont localisées sur le côté Sud-Ouest de la Montagne-Pelée.

Produits de projection. — L'étude de la nature et de la distribution des produits de projection dans la zone dévastée

permet immédiatement d'éliminer l'hypothèse d'une destruction produite par un bombardement de la ville de Saint-Pierre et de ses environs par des blocs de lave incandescente ou par la seule chute d'une très grande quantité de cendres. Nous avons montré déjà que les bombes de la grosseur du poing, si nombreuses sur les bords du cratère, ne sont pas parvenues directement au-delà de 800 mètres de celui-ci. Quant à l'apport des cendres, quoique relativement assez considérable dans le quartier du Fort, il a été insuffisant, dans la plupart des points considérés, pour déterminer à lui seul l'effondrement des maisons.

Il est donc, par suite, nécessaire d'admettre que le désastre est dû à l'existence d'une poussée de gaz et de vapeur à haute température, ayant certainement entraîné des cendres et des lapillis, mais qui paraissent toutefois n'avoir joué qu'un rôle accessoire dans le phénomène. L'existence de cette poussée est mise en évidence à la fois par ses effets mécaniques, calorifiques et physiologiques, qui ont été ou qui peuvent être constatés, et par les récits des survivants de la catastrophe.

Effets mécaniques. — L'étude des flancs de la Montagne-Pelée et celle des ruines de Saint-Pierre permettent de préciser les effets mécaniques produits dans la zone de dévastation. Entre le cratère, Sainte Philomène et Saint-Pierre, il n'existe plus rien ; le sol est nu : villas, usines, bois, cultures, tout a disparu. Dans Saint-Pierre même, l'emplacement du quartier du Fort, le plus rapproché du volcan, était encore le 22 juin recouvert par une sorte de dune de cendres à la surface ondulée. Depuis lors, l'érosion très active pendant cette saison des pluies, met peu à peu à découvert ruines et cadavres et montre que beaucoup de maisons de la partie haute du quartier ont été rasées au niveau du sol; il en est de même pour le quartier du centre, situé sur la rive gauche de la Roxelane. Quant aux maisons

placées sur la rive droite de cette dernière rivière et adossées au coteau sur lequel se trouvait le quartier du Fort, elles ont été, en partie, protégées et n'ont subi que la démolition partielle, si caractéristique dans le sud de la ville. Lorsque, en effet, on s'avance dans cette direction, on constate que la dévastation y a été moins complète : les maisons ne sont souvent que partiellement renversées et, dans le quartier du Mouillage notamment, où les rues ont une orientation oscillant autour du Nord-Sud ou dans une direction perpendiculaire, on constate que les murs dont le plan est dirigé Nord-Sud ou dans des directions voisines sont presque entièrement debout, alors que les autres n'existent plus ou presque plus.

Dans toute la ville, les arbres sont brisés ou déracinés ; dans ce dernier cas, il sont renversés vers le Sud ; c'est dans cette direction qu'est tombé le phare ; la vierge colossale en fonte qui se trouvait sur le Morne d'Orange, au-dessus de la batterie Sainte-Marthe, a été renversée dans la même direction ; elle gît non brisée à quelques mètres de son socle (1).

Cette constance de l'orientation de tout ce qui a été renversé est particulièrement frappante dans le cimetière du Mouillage. Les grilles de fer ont été arrachées et projetées vers le Sud ; des pierres tombales de marbre placées à plat sur les caveaux ont elles-mêmes subi un déplacement dans la même direction. Enfin, de nombreux cadavres ont été retrouvés dans les rues, également orientés la tête vers le Sud.

Lorsqu'on s'éloigne de Saint-Pierre dans la direction de l'Est, sur le Morne d'Orange ou dans le quartier des Trois-Ponts, par exemple, on constate l'atténuation progressive des actions mécaniques : les arbres ne sont plus renversés,

(1) Les canons de la batterie Sainte-Marthe, placés à côté de leurs affuts renversés, n'ont pas été jetés à terre par la poussée volcanique, comme on l'a écrit; ils étaient démontés depuis plusieurs années.

mais seulement dépourvus de leurs branches et de leurs feuilles, les maisons sont moins atteintes, parfois même quelques-unes d'entre elles subsistent presque intactes, puis on arrive à une zône extérieure où seul le feuillage des arbres a souffert. Des observations du même genre peuvent être faites du côté du Prêcheur, à la bordure de la zône dévastée.

L'existence d'une poussée gazeuze formidable, dont l'origine doit être recherchée au nord de la ville de Saint-Pierre, est donc évidente; mais, d'autre part, comme la ville se trouve à l'une des extrémités du secteur dévasté, il est, en outre, nécessaire d'admettre que cette poussée n'a pas été rectiligne, mais s'est produite en éventail de façon à couvrir toute la surface comprise entre Sainte-Philomène et Saint-Pierre; nous discuterons plus loin quelle est la position probable de son point de sortie.

Effets calorifiques et physiologiques. — Au point de vue des phénomènes calorifiques et physiologiques, il y a lieu également de distinguer un secteur central, qui est sensiblement celui dans lequel les effets mécaniques ont atteint leur maximum, et un autre, plus étroit, extérieur, dans lequel les effets destructeurs ont été progressivement en s'atténuant. Dans le secteur central, on n'a plus trouvé trace de vie; les cadavres étaient entièrement nus, méconnaissables, superficiellement carbonisés; leurs cheveux et leurs poils étaient brûlés. La position d'un très grand nombre d'entre eux semble indiquer qu'ils ont été surpris par une mort foudroyante; les symptômes d'asphyxie (langue tuméfiée, pendante, contracture des membres, etc.) étaient souvent manifestes. Les maisons ont été incendiées, mais l'incendie n'a pas été total; on rencontre des débris de maisons épargnées, à côté d'autres partiellement ou entièrement brûlées. Il semble que la ville ait été soumise à une température élevée, mais pendant un temps très court, de telle

sorte que les objets peu combustibles ou préservés par des causes locales ou accidentelles [1] n'ont souvent pas eu le temps de s'enflammer, quand ils n'ont pas subi l'influence de foyers d'incendie voisins, particulièrement intenses dans cette ville où les usines et notamment les rhumeries étaient nombreuses. Il est à remarquer que la ville de Saint-Pierre était construite en pierre, avec les toitures en tuile ou en tôle galvanisée.

La température n'a été suffisante pour fondre aucun des objets métalliques (poutres, grilles, balcons de fer, fils de cuivre du téléphone) autrefois exposés à l'air et que l'on rencontre en grande abondance dans les décombres de la ville.

Dans le secteur extérieur, et notamment dans les faubourgs ou la banlieue de la ville (quartier des Trois-Ponts, Morne d'Orange, etc.), la proportion des maisons non brûlées, des arbres non carbonisés [2] augmente très rapidement, et l'on trouve des habitations qui, bien que construites en bois, ne montrent pas trace d'incendie. Dans ces dernières (Carbet), les habitants ont été rencontrés asphyxiés, conservant des positions naturelles qui semblent indiquer une mort soudaine ; leurs vêtements n'étaient pas endommagés [3].

Dans le voisinage, les cadavres recueillis en dehors des maisons présentaient des traces d'asphyxie, en même temps que des brûlures ; leurs vêtements ne sont que partielle-

(1) C'est ainsi que nous avons trouvé dans le quartier du Fort des cartouches de révolver et des tuyaux de caoutchouc intacts. Dans le quartier du Mouillage, nous avons rencontré, dans la cour d'une maison en partie incendiée, une femme immergée dans un bassin et ayant ses vêtements non brûlés.

(2) Ceux-ci sont souvent carbonisés ou dépourvus de leur écorce du côté de la montagne seulement.

(3) Des chiens et des chats ont été trouvés vivants dans quelques-unes de ces maisons *closes*, dont les habitants étaient asphyxiés.

ment carbonisés. Enfin, à la limite de la zône que nous étudions, se trouvaient des blessés, dont quelques-uns ont survécu ; ce sont ceux que nous avons interrogés ; sur eux, on n'a plus observé, ou presque plus, de carbonisation ; leurs vêtements étaient intacts, leurs blessures consistaient en brûlures superficielles, mais très étendues, de toutes les parties découvertes ; les cheveux et la barbe étaient intacts. On a constaté aussi des brûlures des lèvres, des premières voies digestives, des voies respiratoires, enfin parfois des signes de pneumonie. Les paupières étaient parfois tuméfiées, brûlées, mais les yeux intacts. Beaucoup de ces blessés ont été certainement brûlés par de la vapeur d'eau ou par un gaz à haute température, mais d'autres avaient, en outre, absorbé une plus ou moins grande quantité de cendres chaudes. Tel a été, en particulier, le cas de ceux qui ont péri à bord du *Roraima*, navire qui était mouillé devant Saint-Pierre. Ce navire, de même que le *Roddam*, le *Teresa-Lovico*, se trouvait à une plus ou moins grande distance du rivage, près de la limite d'action de la poussée gazeuse, qui semble avoir eu, au point de vue calorifique, une action moindre sur mer que sur la terre voisine.

En résumé, toutes ces observations indiquent l'action rapide et persistante d'une source de calorique à haute température, produisant l'asphyxie. Dans une zône centrale, la température a été assez élevée pour déterminer l'incendie, carboniser superficiellement les cadavres après avoir brûlé leurs vêtements, mais elle a été insuffisante pour fondre des fils minces de cuivre (1 054°). A l'extérieur de cette zône, les phénomènes d'asphyxie ont persisté, mais la température s'est abaissée de telle sorte que des vêtements même ne pouvaient plus être carbonisés ; enfin, plus extérieurement encore, la vie a été généralement possible et les êtres vivants ont eu à souffrir soit simplement de gêne respiratoire, soit de brûlures analogues à celles que produit la

vapeur d'eau dans des explosions de machines à vapeur, avec parfois, en outre, action évidente de cendres chaudes.

Ces faits d'observations étant établis, passons aux récits des témoins que nous avons interrogés ou dont les déclarations ont été publiées. Ceux-ci sont, soit des personnes qui, au moment de l'éruption, ont observé le volcan de localités situées au dehors de la zône dévastée (Morne-Rouge, Parnasse, haut du Morne d'Orange, etc.), soit des personnes se trouvant sur la limite extérieure de celle-ci (à bord des navires ou sur la terre ferme); ces récits ne sont malheureusement pas tous concordants, mais les faits suivants peuvent être définitivement établis. Nous publierons d'ailleurs plus tard, avec le compte rendu complet de notre mission, tous les témoignages que nous avons recueillis, leur longueur ne permettant pas de les intercaler dans ce rapport préliminaire.

Après plusieurs jours d'éruptions préliminaires, le 8 mai, un peu avant huit heures du matin, alors que le ciel était pur et que le volcan lançait verticalement, comme il le faisait depuis quelque temps, un panache de vapeur, on entendit, venant du cratère, une détonation formidable, en même temps qu'un nuage noir, très épais, dévalait de la montagne dans la direction Nord-Est-Sud-Ouest, vers Saint-Pierre. Ce nuage était sillonné d'éclairs ; il était animé d'une grande vitesse, de telle sorte qu'en deux ou trois minutes, peut-être moins, il avait dépassé Saint-Pierre, dont l'extrémité Sud est distante d'environ 8 kilomètres du cratère [1]. Ce nuage était dense, car ses volutes, roulant les unes sur les autres, se maintenaient à la surface du sol. Sur son passage, il renverse habitations et monuments, brise ou déra-

[1] M. Ferdinand Clerc aurait observé le 8 mai, à 7 heures du matin, de violentes pulsations de l'aiguille d'un gros baromètre anéroïde, ce qui l'aurait déterminé à fuir. (*Note de l'auteur*).

cine les arbres, soulève horizontalement la surface de la mer, démâte les navires au ras du pont et en coule plusieurs. Enfin il anéantit tous les êtres vivants. Une obscurité profonde s'étend immédiatement sur son trajet, mais à son contact tous les objets combustibles s'enflamment : arbres, champs de cannes, la ville entière, les navires en rade flambent en un instant. Presque aussitôt se produit une chute de petits lapillis et de cendres, bientôt transformées en boue par une pluie diluvienne qui dure près de 30 minutes. Aussitôt après le passage de la poussée gazeuse, un vent de retour en sens inverse s'est produit, sauvant ainsi la vie à plusieurs personnes au sud de Saint-Pierre. Une heure après le commencement du phénomène, le ciel redevint pur.

Les contradictions dans les récits portent sur les deux questions que nous devons discuter comme conclusion à cette étude : Quelle était la constitution de la poussée gazeuse qui a détruit Saint-Pierre, et d'où elle est partie ?

En effet, tandis que la plupart des témoins affirment que le nuage, vu de front ou de côté, était obscur, un petit nombre disent y avoir vu des points de feu, et l'un d'eux même a parlé de flammes partant du cratère et se dirigeant sur Saint-Pierre. D'autre part, tandis que les témoins que nous avons entendus, sauf un, disent avoir vu le nuage obscur partir du haut de la montagne pour se diriger sur Saint-Pierre, deux autres, cités par M. Robert-T. Hill, l'un des géologues américains, qui vient de publier un compte rendu de l'éruption, prétendent l'avoir vu partir d'un nouveau cratère qui serait situé dans la vallée de la rivière Blanche, à deux milles de la côte ; un des témoins que nous avons entendus, dit avoir vu le nuage obscur occuper tout l'espace compris entre la mer et un point situé à 200 mètres ou 300 mètres au-dessous du cratère.

En ce qui concerne la nature du nuage destructeur, il est

un certain nombre de faits qui sont hors de doute. Ce nuage était certainement essentiellement constitué par de la vapeur d'eau et par des cendres. Les cendres ont été constatées avec évidence d'abord à terre et aussi sur les blessés survivants : la plupart d'entre eux étaient absolument couverts par de la boue gluante. C'est à la présence des cendres qu'étaient dues la couleur et la forte densité du nuage. Nous avons vu, dans les fumerolles du bord de la côte, comment les bouffées de vapeur d'eau entraînant de la cendre par éboulement des falaises, roulaient lourdement à la surface de la mer, au lieu de s'élever comme lorsqu'elles en étaient dépourvues.

La présence d'une grande quantité de vapeur d'eau n'est pas douteuse ; celle-ci constitue, en effet, la partie prédominante de toutes les émanations volcaniques, en général, et de toutes celles de l'éruption actuelle de la Montagne-Pelée en particulier. Son existence est encore prouvée par l'abondante condensation qui s'est produite au cours du phénomène et qui a déterminé la pluie torrentielle dont il a été question plus haut. Enfin, il faut noter à ce point de vue toutes les brûlures subies par les blessés de la zone extérieure, et notamment de ceux qui ont été brûlés sans subir aucun phénomène d'asphyxie.

Tout ce que nous savons sur les émanations volcaniques, et ce que nous avons personnellement constaté sur les fumerolles de l'éruption actuelle, tend à indiquer comme vraisemblable, la présence d'acide sulfureux et d'hydrogène sulfuré mélangés à la vapeur d'eau, mais il semble douteux que ces gaz aient joué un rôle bien considérable ; les témoins ne sont pas d'accord, en effet, dans leurs observations à cet égard ; les uns parlent d'une odeur de soufre qu'ils auraient sentie, les autres sont très affirmatifs sur l'absence d'odeur au moment où ils ont été brûlés. Nous avons recueilli un très grand nombre d'objets métalliques, dans l'espoir d'y trouver des traces permanentes de l'action de ces gaz. Nous

n'avons guère obtenu que des résultats négatifs [1]. Parmi ces objets, les uns sont intacts (fils et plaques de cuivre; tuyaux de plomb, chromate de plomb trouvé dans les ruines d'une maison), ou bien présentent des oxydations banales dans un climat chaud et humide (objets de fer, de cuivre, de plomb); les autres ont bien subi des transformations, mais celles-ci sont attribuables à l'action de la chaleur à laquelle ils ont été soumis dans les maisons incendiées : tel est le cas de beaucoup d'objets d'argent, de pièces d'or, qui sont recouverts d'un enduit noir d'oxyde de cuivre. Il est possible que l'étude, que nous n'avons pas achevée, d'autres objets d'argent, y indique l'existence de traces de soufre, mais cela ne nous fournirait pas une certitude au sujet du nuage du 8 mai, car depuis plusieurs jours on avait signalé, dans les maisons, au voisinage des fumerolles, la sulfuration des objets d'argent.

Les mêmes observations négatives peuvent être faites au sujet de la présence possible de l'acide chlorhydrique. Il faut noter en outre que les vêtements des blessés que nous avons pu voir ne portaient aucune trace de corrosion, ni de décoloration pouvant indiquer la présence de gaz acides.

Il s'agit d'interpréter les causes de l'incendie. Nous devons tout d'abord éliminer l'hypothèse qui a été mise en avant et qui l'attribue à des décharges électriques. La présence d'éclairs sillonnant le nuage noir a été signalée par tous les observateurs, elle est incontestable. Des coups de foudre expliqueraient des incendies locaux, mais non l'embrasement général et simultané de toute la ville, ni celui de la végétation des flancs de la Montagne-Pelée. Aucun phéno-

[1] On a parlé de fragments de soufre recueillis dans les ruines de Saint-Pierre ; ils n'ont rien de volcanique. Nous avons nous-mêmes trouvé, dans la zone périphérique, des fragments de soufre au voisinage de poteaux téléphoniques renversés ; ils provenaient du scellement des isolateurs.

mène de ce genre n'a été signalé à bord des navires, et nous n'avons recueilli aucune fulgurite [1] dans les décombres de la ville; elles eussent été certainement nombreuses, si celle-ci avait été foudroyée en grand.

Les actions calorifiques ont donc été produites par le nuage lui-même, et la question qui reste à résoudre est de savoir si sa température était originellement très élevée, s'il était constitué simplement par de la vapeur d'eau surchauffée mélangée à d'autres gaz inertes (acide carbonique, par exemple) et tenant en suspension des cendres et des lapillis à la même température qu'elle, ou s'il renfermait en outre des gaz combustibles s'enflammant au contact de l'oxygène. La présence de ceux-ci n'aurait rien d'anormal; on connaît en effet dans les émanations volcaniques, en fait de gaz combustibles, non seulement l'hydrogène sulfuré, mais encore l'hydrogène et des carbures d'hydrogène.

Il est nécessaire d'admettre cette dernière hypothèse des gaz combustibles, d'une part si les flammes observées sur la ville et la campagne à mesure que le nuage les touchait ne sont pas dues à l'inflammation instantanée des objets combustibles au contact des produits gazeux et solides du nuage surchauffé, et d'une autre, s'il a véritablement existé des flammes dans le nuage (si ce qui a été décrit comme tel par certains témoins n'est pas constitué par les lapillis incandescents).

La présence des gaz combustibles pourrait expliquer en partie les asphyxies, soit par raréfaction de l'oxygène de l'air, soit par action des résidus de la combustion; pour les asphyxies de la zône centrale, on peut facilement les expliquer, au moins en partie, par l'absorption des fines cendres chaudes tenues en suspension dans la vapeur d'eau.

Nous réservons la discussion de cette question de la nature

(1) Des traces de coups de tonnerre ont été retrouvées à Saint-Pierre par M. Neilprin, mais elles sont peu nombreuses. (*Note de l'auteur*).

des gaz pour le moment où nous aurons le résultat de l'analyse de ceux que nous avons recueillis au cours de l'éruption actuelle et où nous aurons exécuté quelques expériences sur l'action de l'air et la vapeur d'eau surchauffés sur les matières combustibles, expériences que nous nous proposons d'entreprendre.

Il nous reste à rechercher d'où est partie l'explosion. On a vu plus haut qu'il existe une contradiction à cet égard dans les témoignages des personnes qui ont assisté au phénomène. M. Hill place la sortie de la poussée dans un orifice situé à environ 1 000 mètres au-dessous du sommet, dans la haute vallée de la rivière Blanche. Cette opinion est basée sur le récit d'un officier du *Roraima*, qui a dit avoir vu le nuage partir de ce point. Elle est séduisante, car le point considéré est beaucoup plus rapproché de la ville de Saint-Pierre que le cratère, et il est situé sur la direction des fissures de la rivière Blanche. Mais, d'autre part, nous n'avons jamais vu sortir de cette région, autre chose que les produits normaux des autres fumerolles de cette vallée (vapeur d'eau, hydrogène sulfuré), nous n'avons pas observé de sortie de cendres en ce point, et l'on a vu que le nuage destructeur était riche en ces matières. Il semble difficile d'admettre qu'une projection aussi violente que celle du 8 mai n'ait pas laissé à sa bouche de sortie d'importantes traces; or nous n'en avons pas observé de décisives. Il nous semble donc préférable de nous rallier à l'hypothèse faisant partir le nuage du cratère lui-même, bien que nous ne puissions pas en donner la démonstration. Celle-ci ne pourrait être faite que par l'étude de l'intérieur du cratère et par la constatation de l'existence de fissures de direction convenable. La plupart des témoins dont nous avons recueilli les récits n'hésitent pas à dire qu'ils ont vu ce nuage partir du sommet de la montagne et non pas de sa base.

Quoi qu'il en soit des incertitudes que nous devons laisser

sur ces divers sujets, il ne semble pas que l'éruption du 8 mai soit exceptionnelle par essence ; elle paraît avoir tiré sa puissance destructive de la direction qu'ont prise les produits de projection, qui, au lieu d'être poussés verticalement, comme cela est généralement le cas dans les éruptions volcaniques, l'ont été obliquement (quelle que soit d'ailleurs l'hypothèse que l'on admette pour le point de sortie) et précisément dans la direction de cette malheureuse ville.

3° *Conclusions.* — En terminant, nous résumerons rapidement les caractéristiques de l'éruption actuelle. Jusqu'au 31 juillet, date de notre départ de la Martinique, elle a consisté exclusivement dans une phase explosive, elle n'a produit aucune coulée de lave.

On n'a constaté ni fente béante (en dehors du cratère), ni changement de niveau du rivage, ni affaissement ou soulèvement notables dans l'intérieur des terres, ni modifications appréciables des fonds au voisinage de la côte ; aucune secousse importante de tremblement de terre n'a été ressentie ; les grandes explosions ont été accompagnées d'une dépression barométrique subite et de petits raz de marée, parfois meurtriers, au Carbet et se faisant sentir jusqu'à Fort-de-France.

Les blocs de lave incandescente n'ont été projetés qu'à quelques centaines de mètres du cratère, mais l'aire de distribution des cendres et des lapillis s'est étendue sur toute la Martinique, lors des grandes explosions.

L'aire de dévastation complète a été, jusqu'au 31 juillet, limitée à une zône périphérique de 2 kilomètres à 3 kilomètres autour du cratère et à une zône comprenant toute la côte Ouest, entre l'ilôt de la Perle et les premières maisons du Carbet.

Une caractéristique importante de cette éruption réside dans la fréquence des poussées très denses de gaz et de

vapeurs entraînant des cendres, qui ont coûté la vie à tant d'infortunées victimes. Les émissions boueuses ont été répétées et importantes, les manifestations électriques tout à fait remarquables.

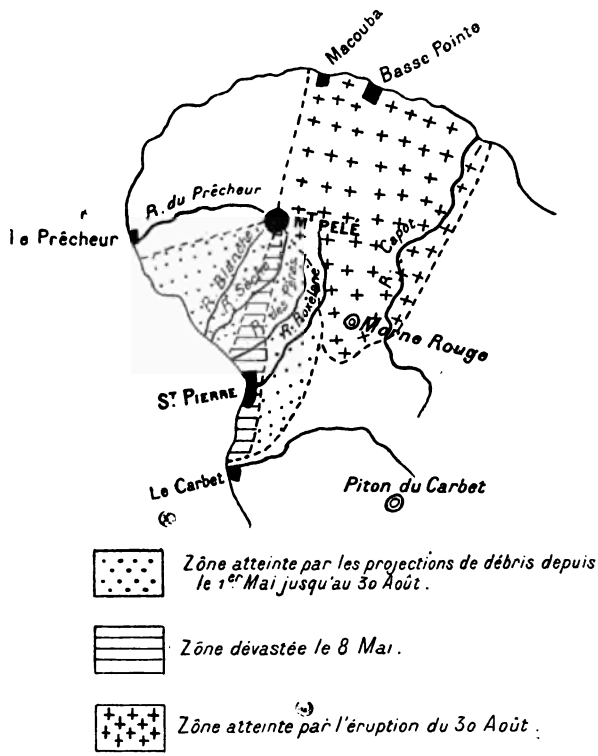


Fig. 46. — Carte des zônes dévastées.

C'est au milieu de la zône dévastée, nettement dissymétrique par rapport au volcan, que se trouvent une grande quantité de fumerolles sulfhydriques, dans la direction du Sud-Ouest et dans le prolongement de la large brèche ouverte dans le haut de la Montagne-Pelée.

Ces fumerolles jalonnent, dans la vallée de la rivière

Blanche, une direction de fissures se trouvant vraisemblablement sur la prolongation de la fente du cratère ; c'est sans doute à la disposition et à la forme de celle-ci qu'est due la direction des poussées obliques en éventail auxquelles nous avons attribué la destruction de Saint-Pierre. Cette direction de fissures se prolonge dans la mer et doit être la cause de la rupture du câble sous-marin français.

Des paroxysmes, séparés par des périodes de calme relatif, ont été nombreux au commencement de l'éruption (8 mai, 20 mai, 26 mai, 6 juin), puis plus éloignés (9 juillet) [1]. Nous constatons que l'éruption se poursuit, *mais il ne saurait être question de faire aucune prédiction sur l'avenir*. L'histoire des volcans andésitiques du genre de la Montagne-Pelée montre qu'ils se comportent dans leurs éruptions de façon différente ; les grandes explosions, comme celle du Krakatoa, ou la production de coulées de laves sont dans tous possibles, mais non nécessaires.

Il sera particulièrement utile, au point de vue de la sécurité de l'île (agrandissement possible vers le Nord et vers l'Est de la zone de dévastation), comme au point de vue scientifique, de suivre attentivement la marche ultérieure des événements et de voir si les fissures, se manifestant par des fumerolles, resteront localisées dans leur direction primordiale, ou bien si elles se continueront sur les flancs nord-est de la montagne, suivant un diamètre, ou encore se produiront en éventail dans diverses directions. Nous n'avons recueilli aucune indication à cet égard en dehors de l'existence de la sortie boueuse de Trianon et peut-être d'une autre dans la vallée de la Basse-Pointe ; mais, comme elles n'ont pas fonctionné pendant notre séjour, nous n'avons sur elles aucun document personnel.

Dans le cas où le volcan entrerait prochainement dans

(1) De nouvelles éruptions graves viennent de se produire : 25, 26 et 30 août.

une phase de coulées, il est vraisemblable, d'après la disposition du cratère, que celles-ci s'épancheraient dans la vallée de la rivière Blanche, c'est-à dire vers la mer, dans la région de dévastation maximum.

Nous avons appelé plus haut l'attention sur les désastres produits par les torrents dans tout le massif de la Montagne-Pelée ; ils ont été la conséquence des condensations atmosphériques particulièrement intenses sur la Montagne-Pelée pendant l'éruption, ou plus ou moins indirectement dus à des émissions d'eau boueuse. Il est certain que les phénomènes torrentiels survivront à l'éruption actuelle et seront à redouter aussi longtemps que les flancs du volcan, formés par des matières éminemment entraînables, seront déboisés. De toute façon, l'évacuation des habitations situées auprès de leur cours inférieur s'impose.

Au moment où ce rapport allait être déposé, parvient la nouvelle d'un nouveau désastre dans la partie est et sud-est de la Montagne-Pelée. Les dépêches ne permettent pas encore de se faire une idée de leur étendue, de leur nature et de leur origine ; mais. dans tous les cas, elles indiquent une augmentation de l'activité du volcan et, ce qui est plus grave, le déplacement ou l'extension de la région dangereuse.

La situation est donc aujourd'hui très différente de ce qu'elle était à la fin de juillet.

Cet événement rend de plus en plus nécessaire une étude minutieuse et surtout continue d'une éruption qui s'aggrave d'une façon inquiétante.

Il n'est pas douteux que l'évacuation du massif entier de la Montagne-Pelée, que nous ne considérions pas comme indispensable il y a un mois, doit être aujourd'hui effectuée d'une façon complète et maintenue jusqu'à cessation des manifestations volcaniques.

La surveillance devra désormais être des plus actives sur la limite méridionale du massif, surtout s'il était démontré,

une fois les causes de cette dernière catastrophe déterminées, que l'éruption a été due à un nouveau cratère produit sur une fissure latérale.

Les parties centrale et méridionale de la Martinique sont restées à l'abri de l'action immédiate du volcan, mais, comme on l'a vu plus haut, le littoral a eu à subir l'effet de raz de marée, chaque fois que s'est produite une violente explosion du volcan. Bien qu'une explosion beaucoup plus violente encore que toutes celles qui ont été constatées jusqu'à ce jour soit nécessaire pour déterminer par contre-coup des dommages importants à Fort-de-France, on ne saurait prendre trop de précautions contre un raz de marée éventuel. Du reste, lorsqu'on arrive pour la première fois à la Martinique, on est frappé d'étonnement en voyant la plupart des villes et des villages de la côte construits presque dans la mer ou dans des marais au niveau de celle-ci, alors que presque toujours, et en particulier à Fort-de-France, il eût été possible de bâtir sur les collines voisines toutes les constructions qui, par destination, ne réclament pas la proximité immédiate du rivage. Cette observation est une indication des mesures à prendre d'une façon aussi générale que possible, quand la période troublée actuelle sera parvenue à son terme.

Notons, en terminant, que l'accumulation d'une grande quantité de réfugiés à Fort-de-France constitue à cet égard, ainsi qu'à beaucoup d'autres, un danger permanent et des plus sérieux.

271. — Des gouvernements étrangers avaient envoyé des savants sur les lieux, et voici un extrait du rapport de MM. *Tampest*, *Anderson* et *Flett*, de la commission anglaise, qui fut publié dans le bulletin de la *Royal Society* de Londres.

« Le 9 juillet, sur un sloop affreté par nos soins, nous avions

passé la matinée sur les ruines de Saint-Pierre. Le volcan était très net et aucun nuage ne le dissimulait à la vue ; on distinguait de petits jets de vapeur sortant de la fissure triangulaire qui servait de cratère.

Un peu après midi [1], de gros nuages de vapeur commencèrent à s'élever, un toutes les 10 ou 20 minutes, avec un grondement sourd. A mesure qu'ils s'élevaient, ils s'étendaient prenant la forme de massues ; ils étaient formés de masses globulaires roulantes, dont le nombre et la grosseur augmentaient à mesure qu'ils montaient dans les airs ; on pouvait les comparer à un faisceau de grappes, petites et grosses, ou à un gigantesque choufleur. Quand leur vitesse ascensionnelle diminua, ils flottèrent sous le vent, et une fine cendre commença à tomber comme un brouillard épais sur le versant oriental de la Montagne. Cela ne nous causa d'abord aucune anxiété, car nous avions constaté que la montagne ne restait jamais longtemps sans donner lieu à des décharges de ce genre, dues simplement à des dégagements de vapeur entraînant une poussière fine. Les nuages en question s'élevèrent, en général, à des hauteurs de 1 500 à 1 800 mètres au-dessus de la mer.

L'après-midi, nous naviguâmes le long de la côte pour prendre une série de photographies générales de la montagne entre Saint-Pierre et Prêcheur. La vapeur fusait toujours et vers six heures, comme nous arrivions par le travers de la baie de Saint-Pierre, les jets devinrent plus nombreux, quoique pas beaucoup plus importants comme dimensions. Nous atterrîmes au Carbet, village à $2^{km},4$ au Sud de Saint-Pierre où il y a une provision d'excellente eau et un bon ancrage. Vers six heures et demie, il devint évident que l'activité du volcan augmentait; les nuages en forme de choux-fleurs cessèrent d'être distincts et séparés ;

[1] *Revue scientifique*, 27 septembre 1902.

ils se suivirent bientôt de si près qu'ils finirent par donner l'impression d'une émission continue. Un nuage épais de vapeur fut chassé par le vent et couvrit tout le côté sous le vent de l'île et la mer jusqu'à 10 kilomètres des côtes d'une couche de cendres fines; le soleil, masqué par ce nuage, perdit son éclat et devint un disque pâle d'un vert jaunâtre, facilement observable à l'œil nu. La nuit vint; mais la lune éclairait suffisamment pour nous permettre de voir ce qui se passait sur le flanc de la montagne.

Une avalanche incandescente. — Juste avant que la nuit fut complète, nous remarquâmes un nuage qui avait en lui quelque chose de particulier. Au premier aspect, il ressemblait aux masses globulaires de vapeur en forme de choux-fleurs ; mais il était plus sombre et, au lieu de s'élever dans les airs, il conservait sa forme en devenant peu à peu de plus en plus gros. Après l'avoir observé un instant, nous conclûmes qu'il se déplaçait en ligne droite de la montagne vers nous en roulant sur la surface du sol. Il était si totalement distinct dans ses allures des nuages ascendants de vapeur, que notre attention s'était concentrée sur lui et que nous n'étions pas sans appréhension sur son caractère. Il sembla mettre quelque temps pour atteindre la mer (plusieurs minutes au moins) et, comme il atteignait la baie, nous pûmes voir qu'il était sillonné d'éclairs innombrables.

Nous levâmes l'ancre et nous mîmes à la voile vers le Sud, le long de la côte, avec un vent léger de l'Est et une marée favorable. Nous avions à peine quitté notre ancrage quand il devint évident qu'une éruption était imminente. Comme l'obscurité s'accentuait; un reflet rouge devint visible sur les nuages qui couvraient le sommet de la montagne ; ce reflet devint de plus en plus brillant et bientôt nous vîmes des pierres portées au rouge sortir du cratère et rouler sur les pentes en donnant des étincelles incandescentes. Brus-

quement le nuage tout entier fut brillamment illuminé et les marins s'écrièrent : « La montagne éclate ! » Dans un temps incroyablement court, une avalanche de matériaux portés au rouge descendit vers la mer. Nous ne pouvions pas voir la sortie du cratère à cause du voile de nuages ; mais les parties basses de la montagne étaient clairement visibles et l'on y pouvait suivre la coulée incandescente descendant à angle droit sur le rivage de la baie, et mêlée de grosses pierres d'un rouge brique qui soulevaient, en roulant, le long des pentes, quantité de lueurs et d'étincelles. En quelques secondes ce fut terminé. Indubitablement la vitesse était terrifiante et rien n'eût pu résister à ce torrent incandescent.

Les éclairs. — A peine cette lueur rouge se fut-elle éteinte qu'un gros nuage noir commença à se former exactement où s'était produite l'avalanche. La pâle lumière lunaire nous le montra globulaire, avec une surface bombée couverte de masses arrondies protubérantes qui montaient et se multipliaient avec une terrible énergie. Ce nuage s'avançait sur les eaux, directement vers nous, en pleine ébullition, changeant à chaque instant de forme. Sur sa face partaient d'innombrables éclairs, courts, le plus souvent horizontaux ; à sa base surtout, c'était un scintillement continu. Le nuage même était noir comme la nuit, dense et solide, et les éclairs qui le sillonnaient lui donnaient un aspect sinistre indescriptible ; il se mouvait avec une grande vitesse et à mesure qu'il approchait il devint de plus en plus gros tout en conservant sa forme arrondie ; il ne s'étendait pas latéralement et ne s'élevait pas dans les airs ; il était balayé au-dessus de la mer en poussant des masses globulaires toutes scintillantes d'éclairs. A 1 600 mètres environ de nous, sa marche se ralentit d'une façon perceptible ; nous estimâmes alors qu'il avait 3 kilomètres de large et environ 1 600 mètres de haut. Il commença alors à changer de forme ; les protu-

bérances nouvelles cessèrent ou ne se produisirent plus que lentement; elles devinrent moins globulaires, et la face du nuage ressembla presque à un rideau noir drapé avec plis. En même temps, il devint plus pâle et plus gris et pendant un certain temps sa surface brilla sous la lumière lunaire à la façon d'une pièce de soie. Les particules de cendres commencèrent à tomber et la vapeur blanche, délivrée de la poussière qui y était mêlée, s'éleva dans les airs.

Le nuage s'avança encore, mais ce n'était plus maintenant que de la vapeur; il s'éleva au-dessus de la surface de la mer, et passa au-dessus de nos têtes en une grande masse en forme de langue qui fut en quelques minutes directement au-dessus de nous. Alors des pierres, de la grosseur d'une noix, commencèrent à tomber sur le bateau; elles furent suivies de petites balles qui tombèrent comme une volée de pois. En une minute ou deux, une cendre grise, fine, humide et agglomérée en petits globules, tomba sur nous, suivie d'une pluie de cendres sèches. Quand la cendre fine commença à tomber, une odeur d'acide sulfureux se fit sentir, mais pas très marquée. Il n'y eut pas de pluie.

Le volume de vapeur émise a du être énorme, car le nuage en forme de langue s'élargit en gagnant le sud de telle sorte qu'il couvrait le ciel presque tout entier, sauf une légère bande à l'extrême horizon. La poussière tomba à Fort-de-France et sur toute la pointe Sud de la Martinique. Le feu des éclairs était magnifique; ils sillonnaient le nuage dans toutes les directions suivant des lignes irrégulières et étaient accompagnés d'un grondement continu.

Ce qui se passa ensuite au Mont-Pelé, on ne saurait le dire d'une façon précise. Les éclairs brillants et un bruit rappelant le tonnerre durèrent encore quelques heures. Cette nuit-là il y eut un orage violent sur la pointe Nord de la Martinique et beaucoup des éclairs étaient atmosphériques; mais il est probable que l'éruption n'était pas non plus

étrangère à ces manifestations et les bruits peuvent avoir en partie une origine volcanique.

Caractéristiques des éruptions. — Il ne peut y avoir aucun doute à cet égard : l'éruption à laquelle nous avons assisté était une contre-partie de celle qui a détruit Saint-Pierre. Le mécanisme de ces décharges est obscur et beaucoup de problèmes intéressants sont soulevés ; mais nous sommes convaincus que l'avalanche incandescente était constituée par du sable chaud et des gaz — surtout de la vapeur. Quand nous repassâmes quelques jours plus tard, à bord du *Wear*, nous eûmes une excellente occasion d'examiner la côte du pont du vapeur. Le côté Sud-Ouest de la montagne, le long du cours de la rivière Sèche, était couvert d'une couche de cendres fines, grises, fraîchement tombées, qui paraissait être plus épaisse dans les vallées. L'eau des rivières descendant de cette partie de la montagne était chaude à émettre des vapeurs. Il n'y avait pas de lave. Nous ne vîmes aucune explosion de gaz combustibles, ni rien qui ressemblât à une flamme. Nous fûmes d'accord pour reconnaître que les scintillements dans le nuage étaient dus à des éclairs ordinaires qui éclataient d'une partie de ce nuage à une autre et dont certains frappaient la mer au-dessous.

La circonstance la plus particulière de ces éruptions, est l'avalanche de sable incandescent et le grand nuage noir l'accompagnant. Les stages préliminaires de l'éruption, qui peuvent durer quelques jours ou seulement quelques heures, consistent en dégagement de vapeur, de poussières fines et de pierres, et dans le rejet des eaux du lac du cratère sous forme de torrents d'eau et de boue. Ces dégagements n'ont rien d'extraordinaire ; mais dès que le débouché du cratère est dégagé et que l'éruption atteint son maximum, une masse de lave incandescente apparaît et coule par dessus les bords du cratère sous forme d'une avalanche de poussière portée au rouge. C'est une lave pulvérisée par

l'expansion des gaz qu'elle contient; elle se précipite vers le bas de la montagne, renversant et détruisant tout sur son passage. Le mélange de poussières et de gaz se conduit comme un fluide à beaucoup d'égards: la composition exacte des gaz reste d'ailleurs inconnue; ils paraissent consister principalement en vapeur d'eau et acide sulfurique. Il y a beaucoup de raisons de croire qu'il ne contiennent pas beaucoup d'oxygène et ne sont pas propres à la respiration. »

272. — Appelé, de nouveau, à diriger une mission sur les lieux, M. Lacroix n'a pu encore se livrer à un examen approfondi des roches qu'il a rapportées de son premier voyage.

Voici néanmoins l'aperçu sommaire de la nature des projections de la Montagne Pelée, que M. Lacroix a communiqué à l'Académie des Sciences :

« Ces roches offrent des caractères extérieurs fort variés; ce sont : 1° des roches compactes, vitreuses, d'un gris noir, constituant des blocs fragiles parfois énormes; tels sont ceux qui ont été projetés dans l'ancien lac des Palmistes et sur les pentes Est de la montagne, antérieurement au 29 juin, date de la première ascension; quelques-uns d'entre eux sont de véritables obsidiennes; 2° des bombes de toute taille, de couleur plus claire que les précédentes; présentant de profondes et sinueuses fentes de retrait sur toutes leurs faces (observées par l'auteur après le 9 juillet); 3° des blocs anguleux de ponce blanche, pouvant atteindre plus de 1 mètre cube (éruption du 9 juillet).

« Un examen sur le terrain a permis déjà de voir que ces roches, si différentes en apparence, ne constituent en réalité que des variations d'un même type pétrographique.

« En brisant un grand nombre de bombes à fissures de retrait, M. Lacroix a recueilli toute une série d'échantillons dans lesquels on trouve, de la périphérie au centre, tous les

passages entre le verre compact qui constitue leur croûte et la ponce la plus poreuse.

« L'examen microscopique confirme cette première impression. La composition minéralogique de ces roches est celle que faisait prévoir l'étude des cendres du 3 mai dont il a entretenu antérieurement l'Académie. Ce sont des andésites à hypersthène, riches en phénocristaux et devant aux conditions rapides de leur refroidissement une pâte presque toujours plus ou moins complètement vitreuse.

« Enfin, l'étude minéralogique et chimique des roches, dont l'auteur donne la description, le conduit à cette conclusion que si le volcan entrait dans une phase de coulée, il produirait des andésites identiques à celles que l'on trouve en place dans le massif de la Montagne-Pelée et qui ont été formées au cours des éruptions antérieures à la découverte de la Martinique. »

273. — MM. Mirville et Rosé, pharmaciens des troupes coloniales, ont recueilli et analysé des cendres tombées le 8 mai à Fort-de-France. Ils ont trouvé la composition suivante :

Partie soluble dans l'acide chlorhydrique

SiO^2 des silicates décomposés. . .	7,70 %
Fe^2O^3	4,40 »
Al^2O^3	7,46 »
CaO	2,807 »
MgO.	1,034 »
NaO.	0.37 »

Partie insoluble dans l'acide chlorhydrique

SiO^2 des silicates non décomposés . .	49,90 %
Al^2O^3	17,43 »
CaO	2,71 »
MgO	0,77 »
Perte par calcination.	4,20 »

Acides combinés

HS	0,007 %
HCl	0,055 »
SO^3HO	0,108 »
Sels solubles dans l'eau bouillante . .	0,325 »

La teneur totale en silice, d'après cette analyse était de 57,60 %.

274. — Le 30 août, une nouvelle éruption eut lieu, mais cette fois les boues, cendres et débris furent lancés dans la direction N. La région comprise entre la rivière Capot et Basse-Pointe (fig. 46) fut détruite et 3000 personnes périrent.

Comme au 8 mai, un nuage noir descendit du Mont Pelé et sema la mort sur son passage. Le littoral N. de l'île s'abima sous les flots sur une longueur de 2 kilomètres.

275. A quelle cause attribuer les effets du nuage noir. — Les opinions sont partagées sur la cause de la mort *subite* des habitants de Saint-Pierre.

Certains pensent que le nuage sillonné d'éclairs a pu agir par sa température et par l'asphyxie provoquée par les cendres qu'il portait, mais qu'aussi et surtout il a agi électriquement, en *électrocutant* la ville et ses habitants.

On constate, il est vrai, dans les incendies des phénomènes bizarres, tels la brûlure profonde d'une personne alors que les vêtements qui la recouvrent sont intacts. Mais, ce qui frappe, dans les récits de la catastrophe de Saint-Pierre, c'est la soudaineté de la mort tombée sur sa victime avec la rapidité de la *foudre*.

On a cité les cas suivants :

Un homme satisfaisant un besoin naturel, dans la campagne, resté dans la position qu'il occupait.

Un homme surpris en marchant et immobilisé un pied en l'air, les bras ballants, un bidon dans une main.

Dans une chambre, un homme assis à son bureau écrivant tandis qu'une femme est appuyée sur son épaule et qu'un enfant joue par terre.

D'autre part, il nous semble que si le renversement de murs, de grilles, d'une statue surtout, était du à une chasse d'air, une onde de compression se serait fait sentir au loin, tout autour de St-Pierre, détruisant par son choc des maisons et les navires en mer. Puis, une dépression atmosphérique intense aurait eu lieu à St-Pierre suivie d'un coup de vent violent en sens contraire.

Pendant ces deux phases, la cendre volcanique qui recouvrait toute la contrée aurait été entraînée par les vents.

A part quelques oscillations barométriques sans importance, on n'a pas constaté les effets destructeurs de l'onde aérienne que l'on signale lors de l'explosion de poudrières, par exemple, ni l'entraînement des cendres par le courant d'air.

Enfin l'effet du nuage mortel fut limité à une très faible zone.

Et, il nous semble que la plus grande part revient à des décharges électriques entre les nuages et le sol, en y ajoutant les effets foudroyants de l'acide sulfhydrique agissant comme toxique et comme agent incendiaire par sa combustion au contact de l'air.

Les effets de la foudre sont bien connus et ils sont plus bizarres que ceux de la chaleur, et ils suffiraient à expliquer la localisation du cataclysme, la mort subite des habitants pris dans le nuage, le renversement d'objets solidement encastrés offrant peu de surface au vent tandis que d'autres moins solides restaient debout.

Du reste, si cette conception est exacte, le nuage devait perdre, au fur et à mesure qu'il avançait, ses vertus homicides ; or, les victimes à bord des navires en rade périrent par *brûlure* et portaient les indices d'une grande souffrance

alors qu'en ville, les corps non altérés par l'incendie consécutif n'en portaient aucun.

Enfin, à St-Pierre, tout le monde périt, sur les bateaux, ceux qui se trouvaient un peu abrités du contact du nuage chargé de cendres survécurent ; le *Roraima*, ce bateau qui étant encore sous pression en rade de St-Pierre quand il reçut le nuage s'échappa, et le récit des survivants du bord ne fait pas mention d'un choc d'air.

275bis. — Pendant le cours de sa deuxième mission à la *Martinique*, M. Lacroix a fait part à l'Académie des Sciences des faits saillants qu'il a constatés et dont l'exposé complète l'histoire du volcan de la *Montagne-Pelée*.

Nous avons extrait de ces communications les passages principaux que nous reproduisons ci-dessous :

a) Nous [1] avons trouvé le lac des Palmistes dans le même état qu'au mois de Juin ; il est rempli de cendres avec quelques grosses bombes. De nombreuses rigoles le sillonnent, se déversant vers toutes les rivières de la côte E. Leur coupe montre des lapillis de toutes dimensions avec enduits de soufre et croûtes d'alunogène. La température n'y dépasse pas 70° C. par places.

..... des vapeurs d'acide sulfureux parvenaient jusqu'à nous, nous forçant, par moments, à reculer et un bruit vraiment infernal se produisait de tous côtés ; nous distinguions sans pouvoir préciser des détonations accompagnées d'éboulements de pierres rendant un son comparable à celui de bris de verre...

Le cratère était entièrement découvert et, devant nous, à 100 mètres à peine et nous dominant de plus de 50 mètres, se dressait un cône *entièrement constitué par des roches solides*. Celles-ci sont extraordinairement fendillées, toutes les fissures laissent échapper soit tranquillement, soit par explo-

[1] C. R. 1902, p. 771.

sion des bouffées de vapeurs blanches ou des fumées bleuâtres d'acide sulfureux en faisant tomber des quartiers de roches dans la rainure que l'on observe entre le cône et la paroi verticale du cratère, et qui n'est pas à plus de 150 mètres du sommet de ce dernier. Le cratère a probablement 600 à 800 mètres de diamètre.

Ce cône n'a certainement pas de cheminée centrale ; quand il y a peu de vent, toutes les fumerolles qui sortent des flancs s'élèvent verticalement et donnent l'illusion d'un panache vertical. Ces grosses colonnes de vapeurs que nous avons vu s'élever à plusieurs kilomètres de hauteur sortent de la rainure du cratère.

b) ..... Le cône [1] central formé au milieu du cratère n'est pas un *cône de débris* édifié par des projections, c'est un *cumulo-volcan* constitué par des roches cohérentes s'éboulant sans cesse, mais continuant à s'élever tranquillement, presque à vue d'œil, sous l'influence de la poussée interne.

Le cratère. — L'éruption actuelle a sensiblement modifié la topographie du sommet de la montagne Pelée..... la déchirure S,O a été en s'agrandissant depuis le 5 mai, date de l'effondrement du barrage de l'Etang Sec..... la crête du cratère est d'altitude irrégulière ; sa partie N.O est la moins élevée et sa partie culminante constituée par ce qui reste du Morne la Croix dont 130 mètres de hauteur se sont éboulés depuis le commencement des éruptions. Le sommet est extrêmement fendillé et parcouru par un courant d'air chaud.

Les bords du cratère, sauf ceux E, sont formés par une arrête très vive...Le bord E est fait par un petit plateau, prolongation vers le S du lac des Palmistes aujourd'hui remblayé. Les parois intérieures vont presque partout verticales.

La surface des bords du cratère est recouverte de cendres

(1) C. R. 1902. p. 992.

très fines, rouges au contact de l'air et gris verdâtre à l'intérieur de la couche.

Cette cendre est stratifiée et constituée par des lits compacts alternant avec d'autres formés de petits *pisolithes* de cendres. Cette structure me paraît due à l'action combinée de la pluie et d'une rapide dessiccation sur des cendres fines.

Grâce à sa finesse, cette cendre se délaye dans l'eau avec la plus grande rapidité, et elle sèche de même.

Les grosses bombes peu abondantes au N et à l'E deviennent plus nombreuses au S-E et au S et dans cette partie les fragments d'andésite ancienne arrachés au sous-sol ont paru y être en plus grand nombre qu'ailleurs.

Je n'ai observé sur le sol aucune fumerolle localisée, mais le sol est tiède ; il suffit de creuser un trou de quelques centimètres pour que le thermomètre y atteigne jusqu'à 82° C. Les petits fragments de roches y sont recouverts de cristaux de soufre et de gypse imprégnés de pyrite ou recouverts de concrétions d'alunogène.

Le fond du cratère est actuellement à 150 mètres environ du pied du sommet du morne la Croix. La cavité cratériforme est réduite à un étroit couloir circulaire qui entoure de toutes parts le cône central ; cette sorte de rainure communique librement avec la vallée de la Rivière Blanche.

Le cône. — Le cône central est constitué par de la lave compacte formant des falaises à parois verticales qui, en un point du côté E sont visibles jusqu'au fond même du cratère.

...Le cône est en voie d'accroissement assez rapide malgré les éboulements incessants qui se produisent.

Aujourd'hui, au milieu de la crète du cratère, se dresse d'un seul jet un énorme piton à paroi verticale, à surface lisse du côté E par suite du décollement ; il a une centaine de mètres de hauteur, il n'est pas placé au milieu du cône, mais sur son bord N-E à cent mètres du morne la Croix.

Ce cône est fissuré dans tous les sens ; des bouffées de gaz et de vapeurs s'en échappent sans interruption, soit verticalement, soit horizontalement ; elles sont accompagnées d'éboulements considérables produisant un grand fracas [1] de bris de verre, ce qui est du reste conforme avec la structure très vitreuse des blocs que l'on trouve éboulés dans la vallée de la Rivière Blanche ou projetés sur le sommet de la montagne.

Il n'existe pas de cheminée centrale et les vapeurs partent soit des fissures superficielles au cône, soit de la *rainure* en avant et en arrière du cône et montant lentement le long de celui-ci. C'est au *voisinage de l'échancrure* S-O que partent les grandes poussées de vapeurs qui, les jours où il y a peu de vent, montent verticalement, à plusieurs kilomètres de hauteur.

On ne peut s'arrêter un instant à l'hypothèse d'un cône de débris ; la quantité de blocs projetés sur les bords du cratère à 100 mètres seulement du cône est d'ailleurs négligeable comparée à la masse de celui-ci : il n'en serait pas de même si l'on avait affaire à un cône de débris. Il n'est pas douteux, à mon avis, qu'il s'agit là d'un *cumulo-volcan*, d'un énorme bourrelet de lave andésitique qui s'édifie à la bouche d'une ouverture souterraine. Celui-ci, grâce à la lenteur de la poussée, à sa continuité et à la faible fusibilité du magma, se consolidant dès son arrivée à la surface, peut conserver sa forme actuelle sans donner naissance à une coulée comme cela arriverait vraisemblablement si l'afflux de matière profonde se faisait beaucoup plus rapidement.

Les éboulements continuels se produisant dans toutes les parties du cône me paraissent hors de proportion avec les bouffées gazeuses qui les accompagnent et dont la sortie ne peut être la seule cause. J'y vois plutôt un effet de l'action

[1] Voir la lettre précédente.

continue de la matière fondue ascendante, disloquant des roches fendillées par un refroidissement brusque.

Cette opinion est légitimée par les phénomènes lumineux visibles la nuit, chaque fois que la montagne n'est pas couverte de nuages. Le cône est alors irrégulièrement éclairé ; il ne s'agit pas là de flammes, mais de lueurs très-vives, très bien délimitées, d'un rouge comparable à celui d'un feu de forge.

Elles apparaissent très brillantes puis perdent progressivement leur intensité. Dans la nuit du 9 au 10 novembre, j'ai vu nettement cette lueur partir de la base du cône, monter suivant une ligne sinueuse avec localement de brusques augmentations d'intensité, atteindre le sommet et envoyer des branches latérales. Au bout d'une demi-heure, le phénomène avait disparu progressivement. Il ne me paraît guère possible d'expliquer ce qui vient d'être décrit autrement que par la montée et le refroidissement progressif du magma andésitique fondu dans les fentes de retrait de parties déjà consolidées de la même lave.

c) Au cours [1] de mes visites aux ruines de St-Pierre, je me suis attaché à recueillir les documents de toute sorte présentant quelque intérêt scientifique, même indépendant des causes de la catastrophe volcanique du 8 mai. Les plus importants sont ceux qui résultent de l'incendie de la ville.

L'action de l'incendie qui a contribué à la destruction de St-Pierre a produit des résultats très inégaux, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer. On rencontre fréquemment à côté l'une de l'autre des maisons entièrement brûlées, et d'autres qui ont été complètement épargnées par le feu. Dans quelques édifices brûlés, grâce à des conditions physiques spéciales, grâce à la nature et à la quantité des pro-

(1) C. R. 1902, p. 1068.

duits combustibles qu'ils renfermaient, l'incendie s'est prolongé pendant plusieurs jours, pendant plusieurs semaines et même pendant plusieurs mois. Tel a été le cas de trois dépôts de charbon qui brûlaient encore le 30 Juillet, près de trois mois après la catastrophe ; c'est l'un deux situé sur le bord de la mer, à l'extrémité sud de la ville qui m'a fourni les documents ayant servi à cette étude.

Ce dépôt de charbon était, comme la plupart des maisons de St-Pierre, construit en pierre avec des andésites du voisinage. Ces pierres venaient généralement de la calcination de polypiers et de sable de la mer, résultant de la désagrégation des andésites et de leurs tufs ; ce sable est constitué par des fragments ou des cristaux nets de titanomagnétite, d'hypersthène, d'augite, de plagioclases, avec, en outre, de petits fragments d'andésite compacte, de ponce andésitique et quelques grains de quartz de dacites.

Les pierres du dépôt de charbon en question ont été modifiées par la chaleur, et près des ouvertures le tirage a été suffisant pour déterminer la fusion complète du mortier des pierres voisines et donner ainsi naissance à une sorte de lave noire, qui a coulé en masses cordées ou en longues stalactites.

Les blocs d'andésite ont été, par places, ramollis au point de s'affaisser sur eux-mêmes, mais leur pâte microlitique seule a fondu entièrement, les phénocristaux ont été plus ou moins conservés.

Suivant la vitesse du refroidissement, le verre noir bulleux est resté entièrement colloïde ou bien a partiellement cristallisé ; l'incendie a donc eu pour résultat de remettre ces andésites dans l'état physique et minéralogique où elles se trouvaient au moment de leur émission ; elles sont par suite comparables aux laves rejetées par les explosions actuelles de la montagne Pelée et qui sont constituées par les mêmes phénocristaux englobés dans un verre cristallique de même composition.

Sous l'influence de ce rechauffement accidentel, les phénocristaux ont subi des transformations du même ordre que celles que l'on observe dans les enclaves des roches basaltiques : fusion et recristallisation périphériques des feldspaths, transformation périphérique de l'hypersthène en augite, généralité du développement des inclusions vitreuses.

« Lorsque le verre a recristallisé, il s'y est développé des plagioclases acides, avec quelques grains d'augite et de magnétite ; la roche nouvelle est donc revenue alors complètement à l'état minéralogique qu'elle possédait avant l'incendie. Mais lorsque, localement, des phénocristaux ont totalement fondu, ils donnent par leur mélange avec le verre ambiant une recristallisation microlitique, généralement constituée par de longues baguettes de labrador enchevêtrées associées à de l'augite, à un peu d'olivine et de verre.

« La roche considérée dans son ensemble, présente alors l'aspect hétérogène d'une andésite, renfermant de petits nodules plus basiques de basalte doléritique. Ceux-ci simulent donc des ségrégations ou des enclaves énallogènes. Cette observation n'est pas sans intérêt en suggérant une explication possible de l'origine des petites enclaves (pseudo-enclaves) basiques, que l'on rencontre si souvent dans certaines roches volcaniques et en montrant une fois de plus comment des compositions minéralogiques différentes peuvent naître d'un même magma, suivant les conditions de consolidation de celui-ci.

« Quant aux parties stalactiformes ou cordées, douées d'une fusibilité plus grande que les andésites et résultant de la fusion de l'andésite au contact des pierres du mur, elles ont une composition plus complexe.

« Les plus fluides d'entre elles ont été celles dans lesquelles la totalité des éléments anciens ont été détruits par

fusion : la roche néogène résultante est un véritable basalte, à structure intersectale, avec tendance ophitique et fréquente présence d'un verre noir. L'abondance de l'olivine est surtout la conséquence de la coexistence d'une grande quantité d'hypersthène et de magnétite dans le mortier.

« Les produits, ayant été doués d'une fluidité moindre, ne diffèrent des précédents que parce qu'il y reste en plus ou moins grande quantité des fragments corrodés ou des cristaux encore nets de plagioclases et de pyroxènes.

« L'hypersthène, qui est parfois extrêmement abondant, n'est jamais absolument intact; sans avoir perdu sa forme géométrique, il est d'ordinaire en totalité ou en partie transformé en grains d'augite, sans orientation définie, ou en baguettes du même minéral groupées avec lui suivant la loi ordinaire, les aiguilles d'augite gagnant de la périphérie au centre du cristal.

Enfin, j'ai fréquemment observé aussi des paramorphoses de l'hypersthène en ce type de pyroxène monoclinique peu biréfringent, à très fines lamelles hémitropes qui est fréquent dans les météorites pierreuses et qui semble être une forme amorphe du pyroxène rhombique.

L'extrême abondance de ces cristaux d'hypersthène, transformés en augite et distribués dans un magma basaltique, font de cette roche néogène un type différent de celui des roches normales connues.

Dans une prochaine Note, je m'occuperai des phénomènes endomorphes très intenses qu'ont subis les andésites constituant les murs des maisons qui contenaient une grande quantité d'objets en fer. »

276. — Nous avons [1] publié, en supposant exacte et d'action prépondérante la théorie des influences sidérales

[1] Voir le *Temps* du 22 septembre 1902.

(voir n° **217**), une note faisant connaître les dates probables auxquelles des phénomènes volcaniques et sismiques devaient se produire : Le nœud des Antilles déjà affaibli par les crises précédentes pouvait être le siège de prédilection de ces manifestations, et voici les conclusions que nous donnions :

« Or, cette action attractive, que l'on mesure et que l'on évalue par un chiffre qui est toujours compris entre 25 et 115, avait pour valeur 107 le 8 mai, date de la destruction de Saint-Pierre, et 104 le 30 août, date du dernier cataclysme.

« Si la théorie des influences sidérales est exacte, il va être possible de prévoir les dates auxquelles la montagne Pelée sera, entre autres, susceptible de causer de nouveaux désastres, et pour l'année 1902 nous trouvons :

20 septembre	avec un	coefficient	d'attraction	102
18 octobre	—	—	—	106
17 novembre	—	—	—	107
16 décembre	—	—	—	106

« De ces quatre dates, la dernière paraît être la plus dangereuse, car le 16 décembre, en même temps que la lune passera au-dessus de la Martinique, elle sera au point de son orbite le plus rapproché de nous, et il y aura pleine lune.

« Maintenant, que l'on ne nous fasse pas dire plus que notre pensée. Nous ne prédisons pas des éruptions aux dates ci-dessus, car de même qu'un ressort bandé perd de son énergie au fur et à mesure qu'il se détend, le mont Pelé a déjà dissipé une partie de celle qui fut accumulée par un mouvement de plissement de grande amplitude. Combien reste-t-il de cette énergie ? Nous l'ignorons, mais les dates que nous avons indiquées seront des moments rendus dangereux par la vague interne, si le rapprochement fait entre les dates 8 mai et 30 août avec celles des maxima d'attraction luno-

solaire aux mêmes époques n'est pas une simple coïncidence due au hasard ».

Or, si le lecteur veut bien se reporter à celui des chapîtres suivants où nous avons reproduit par ordre de date les phénomènes sismiques survenus en 1902 et en Janvier 1903, il constatera que, à chacune des dates indiquées par nous, a correspondu une recrudescence d'activité des bouches volcaniques aux Antilles et dans l'Amérique Centrale principalement. Le tremblement de terre d'Andidjan et l'éruption du Mont Pelé, le 16 décembre, qui faillit engloutir la mission française, semblent corroborer cette théorie.

277. — M. Lacroix a recueilli des gaz de fumerolles du Mont Pelé qui présentaient la composition suivante :

HS	0	pour cent.
CO^2	44,2	»
Az	10,2	»
Argon	2	»
CO	4,6	»
H	23,3	»
C^2H^4	15,7	»
C^4H^2	0	»
Carbures éthyléniques	0	»

abstraction faite de la vapeur d'eau et de l'air mélangés.

M. Armand Gautier estime que la composition de ce gaz présente la plus grande analogie avec celle des mélanges gazeux qu'il a obtenus en portant à haute température diverses roches (voir n° **214**).

278. — Dans une maison de Saint-Pierre, M. Lacroix a trouvé divers objets de fer plus ou moins enfoncés dans les pierres de la construction que la haute température avait amenées à un état pâteux et même fluide, pour certaines. Ces pierres de construction étaient de nature andésitique.

Il a constaté des productions massives de magnétite et de fayalite, au contact du métal, et il en a conclu, qu'en montant des profondeurs, les laves peuvent subir des modifications de composition au contact des roches du sol et nous arrivent avec des espèces minérales qui ne préexistaient pas et se sont formées en cours de route.

CHAPITRE III

—

L'ÉRUPTION DE LA SOUFRIÈRE DE L'ILE DE ST-VINCENT EN 1902

279. — La concordance des éruptions de la Soufrière de St-Vincent et de la Montagne Pelée, à la Martinique, rendait intéressant de faire une étude comparative des phénomènes produits dans les deux iles.

D'après le rapport de MM. Tempest Anderson et Flett [1], de la Commission Anglaise dont nous donnons ci-dessous un extrait, le phénomène volcanique se serait produit dans des conditions identiques à St-Vincent et à la Martinique ; les phases de l'éruption et la cause du cataclysme auraient été les mêmes, mais, à la Martinique, le phénomène acquit une intensité bien supérieure.

280. — La montagne de la Soufrière forme l'extrémité nord de l'île de Saint-Vincent, et sa forme générale suggère tout de suite une comparaison avec le Vésuve. C'est un simple cône sans cratères latéraux ou parasites. Le cratère du sommet est entouré sur le côté septentrional par les ruines d'un gigantesque cratère annulaire qui est pour le cratère actuel ce qu'est le Somma pour le Vésuve. Sur le

(1) *Revue Scientifique*, 27 septembre 1902.

bord nord-est du cratère principal, il en existe un plus petit, connu sous la désignation de « Nouveau Cratère », car on croit qu'il doit son origine à l'éruption de 1812 ; il n'a que 500 mètres de diamètre. Il est douteux que le « nouveau cratère » ait été actif durant la dernière éruption et il est à peu près hors de doute que c'est du cratère principal ou « vieux cratère », que les matériaux ont surtout été rejetés. Des vallées profondes, souvent avec des parois abruptes, ont été ouvertes dans les flancs de la montagne, surtout sur la face méridionale, et c'est dans ces vallées que la plus grande partie des éjections de la récente éruption se sont accumulées.

Signes prémonitoires d'activité. — L'éruption de mai 1902, bien que soudaine dans sa production et désastreuse dans ses effets, était loin d'être inattendue. Il y avait eu des secousses violentes, fréquentes en février et deux installations au nord de Saint-Vincent avaient été abandonnées. Mais les premiers signes de l'activité volcanique actuelle se produisirent le 6 mai. Les habitants du côté sous le vent de l'île eurent la bonne fortune de voir nettement le cratère et, avertis par les jets de vapeur, s'enfuirent à Châteaubelair et autres localités le long de la côte vers le sud, ce qui les sauva du danger. Mais pour l'autre côté de l'île, le sommet de la montagne était caché dans les nuages comme cela arrive souvent et la population, composée surtout de nègres et de gens de couleur, ne fut pas prévenue ; le matin du 7 mai, alors que les usines du côté sous le vent étaient pratiquement désertes, toutes celles du reste de l'île étaient en marche et l'on procédait comme d'habitude aux opérations agricoles. Des messages téléphoniques envoyés de Kingstown à Georgetown, située non loin de la base de la montagne, pour prévenir que la Soufrière était en éruption, ne paraissent pas avoir causé grande alarme ; mais quand, vers midi, le danger devint trop frappant pour échapper à l'atten-

tion, les cours d'eau, ordinairement à sec, roulaient des eaux chaudes qui barrèrent le chemin aux fuyards. Le nombre exact des morts restera inconnu ; mais on l'évalue à 2000 environ, y compris une douzaine de blancs, les surveillants des plantations.

Progrès de l'éruption. — C'est le 6 mai, vers midi, que les premiers signes d'éruption furent aperçus par les habitants du côté sud-ouest de la montagne. A deux heures quarante de l'après-midi, il y eut une explosion considérable et un gros nuage de vapeur s'éleva dans les airs. A cinq heures, une lueur rouge fut visible dans le nuage de vapeur sur le sommet. L'activité volcanique se prolongea durant toute la soirée et, à minuit, il y eut une grande explosion et des flammes rouges furent notées sur le bord du cratère. Le lendemain matin, on pouvait voir de Châteaubelair des gigantesques nuages en forme de champignons s'élevant dans les airs à une très grande hauteur, estimée à 9000 mètres, et chassés par le vent du nord-est. A mesure que le jour avança, l'éruption augmenta de violence ; à dix heures trente du matin, d'énormes nuages de vapeur furent émis avec des grondements et beaucoup d'éclairs. Il est remarquable qu'à ce moment les habitants de la partie de l'île au vent doutaient encore de la réalité de l'éruption et prenaient le nuage obscur qui couvrait la montagne pour un nuage d'orage. La montagne était pourtant en pleine activité et de Châteaubelair on pouvait voir que les matériaux rejetés étaient surtout fournis par le principal cratère, le vieux. A midi, les flancs de la montagne étaient encore verts et le riche manteau de végétation tropicale qui les tapissait n'était pas encore détruit. Une fine couche de cendres était tombée dans les fonds auxquels elle donnait une couleur grisâtre. D'énormes colonnes de vapeur continuaient à sortir du cratère, avec de fréquentes et violentes explosions et avec projection de pierres et de terre.

A ce moment, on remarqua que la vapeur s'élevait de quelques-unes des vallées du côté sud, et ceci augmenta jusqu'à midi cinquante où toute la montagne fut brusquement enveloppée dans un nuage dense de vapeur. Juste avant ce moment, les rivières Walibu et Rabaca avaient roulé des flots d'eau bouillante. Il est plus que probable que ces phénomènes étaient dus au lac du cratère dont les eaux furent rejetées à la mer. Autant que nous sachions, il n'y eut pas de laves boueuses, dans le sens ordinaire, dans les vallées, mais un torrent irrésistible d'eau bouillante qui ne laissa aucune trace que l'on pût reconnaître lors de notre visite.

A une heure, le bruit du volcan était terrible ; des quantités de pierres étaient projetées en tous sens ; d'énormes colonnes de vapeur continuaient à sortir du cratère. Les éclairs étaient terrifiants et après les grosses explosions, qui se reproduisaient toutes les quelques minutes, d'immenses volumes de vapeur venaient couvrir toute la surface. Jusqu'ici, l'éruption avait été du type familier aux géologues, et les destructions ne dépassaient pas les parties hautes de la montagne au voisinage immédiat du cratère. Mais, vers deux heures, l'activité du volcan augmenta brusquement : un rideau terrible, rouge et pourpre, s'avança vers Richmond brûlant la contrée, donnant lieu à la suffocation de toutes les créatures vivantes rencontrées et dévorant la riche culture avec son souffle brûlant.

Les gaz chauds et les poussières. — Du côté sous le vent de l'île, l'obscurité était si complète qu'un homme ne pouvait voir sa propre main ; ceux qui échappèrent à la mort furent ceux qui plongèrent dans la mer ; quand ils revinrent à la surface, l'air était suffocant et ils durent plonger à nouveau jusqu'à ce que la respiration redevînt possible. Cela ne dura d'ailleurs que quelques minutes et probablement beaucoup moins longtemps en réalité qu'il ne leur sembla.

De l'autre côté de l'île, un voile de nuages masquait toujours le sommet ; mais bientôt les plus sceptiques furent convaincus que la Soufrière était en éruption et que les bruits que l'on entendait d'une façon continue n'étaient pas dus au tonnerre. Il se mit à pleuvoir abondamment et les gouttes de pluie étaient souillées de fines particules de cendres. Tout travail cessa sur les plantations et les travailleurs s'efforcèrent de gagner Georgetown ou de s'enfermer dans leurs maisons. A deux heures, des cendres fines, mêlées de bombes et de grosses pierres, commencèrent à tomber sans discontinuer ; mais jusqu'alors les dommages n'étaient pas bien considérables et aucun être humain n'avait été atteint, quand l'éruption arriva à son paroxysme. Ceux qui étaient restés dehors virent alors un gros nuage obscur descendant de la montagne avec une vitesse terrible ; ils se réfugièrent dans leurs maisons et dans les édifices des plantations où ils s'entassèrent à tel point que dans une seule petite chambre on retrouva 87 cadavres. Le nuage roulait vers la mer et il nous a été décrit comme donnant des éclairs, surtout quand il toucha l'eau. Tous s'accordent à dire qu'il était extrêmement chaud, sentait fortement le soufre et était suffocant. Ce nuage suffocant persista quelques minutes ; la plupart de ceux qui résistèrent à cette épreuve purent échapper à la mort ; pourtant quelques-uns moururent peu de temps après à la suite de chocs ou de blessures graves. Dans quelques cas, des gens survécurent tout à fait ou à peu près sans blessure, dans une pièce où beaucoup d'autres trouvèrent la mort. La plupart des survivants s'étaient enfermés chez eux en fermant hermétiquement les portes et les fenêtres ; les brûlures constatées chez les survivants étaient surtout sur les parties extérieures des bras et des jambes et à la face, on n'en trouvait guère que sur les parties du corps non protégées par les vêtements.

La pluie de poussière. — Toute l'extrémité nord de l'île

est maintenant plongée dans une obscurité plus intense que jamais. La montagne fait entendre des grondements terrifiants, une pluie de cendre fine et de sable tombe sur toute la région, mêlée de temps à autres d'averses de grosses pierres. Quelques-unes de celles-ci sont si chaudes qu'elles mettent le feu aux toits en branchages des huttes de l'extrémité sud de Georgetown, à une distance de 12 kilomètres du cratère. A Kingstown, à 20 kilomètres de la Soufrière, les cendres étaient d'abord humides ; mais bientôt après elles sont sèches ; elles ont une forte odeur sulfureuse et fouettent les huttes comme la pluie des grandes averses tropicales. Autour du volcan la terre tremblait continuellement d'un mouvement ondulatoire. A cinq heures et demie, des cendres tombèrent aux Barbades, à 160 kilomètres à l'est; à Saint-Vincent l'obscurité diminua un peu d'intensité avant la tombée de la nuit, mais la pluie de poussière et les bruits durèrent jusqu'au matin suivant.

Au lever du jour, on peut constater que Saint-Vincent, et même les Barbades, étaient couverts d'une cendre grise fine ressemblant à de la neige. Cette poussière avait pénétré à l'intérieur des maisons. A Kingstown, on trouva des pierres de la grosseur d'un œuf de poule, à Georgetown et à Châteaubelair il en est tombé de plus de 30 centimètres de diamètre. Les récoltes ne paraissent cependant avoir éprouvé que peu de dommages, sauf dans la pointe nord de l'île; en fait, beaucoup de gens pensent que les cendres sulfureuses ont des propriétés insecticides bienfaisantes pour la végétation.

Pendant plusieurs jours, les décharges de vapeur continuèrent ; mais un nouveau phénomène avait attiré l'attention. Les ravins sillonnant le flanc sud de la montagne émirent des nuages de vapeur et cela fit croire à l'ouverture de fissures dans les flancs de la Soufrière, fissures livrant passage à des éruptions subsidiaires. En réalité, ce dégage-

ment de vapeur était dû à l'action de l'eau coulant à travers le sable chaud qui sur certains points barrait à peu près complètement les anciens cours d'eau.

Le 15 mai, l'activité volcanique sembla s'apaiser, et la montagne resta claire et débarrassée de nuages; les explosions de vapeur dans les vallées continuèrent et se poursuivirent probablement encore. Le calme dura jusqu'au 18 mai; la confiance renaissait et les habitants des districts voisins de la montagne qui n'avaient pas trop souffert rentraient chez eux, lorsque, vers huit heures du soir, un bruit formidable vint du cratère, glaçant de terreur la population. Les bruits devinrent bientôt aussi violents que lors de la première éruption, et les éclairs aussi vifs; le côté sous le vent fut plongé de nouveau dans l'obscurité, et la pluie de cendre et de sable recommença. Puis, graduellement, les bruits s'atténuèrent, l'obscurité devint moins intense et la lune réapparut. Cette nouvelle éruption ne causa du reste, pour ainsi dire, pas de dommages.

Produits de l'éruption. — Les produits géologiques de l'éruption sont de caractère très simple. La Soufrière et la contrée environnante étaient couvertes d'une couche de cendres le plus souvent sous la forme de sable fin, de coloration foncée, mêlé de morceaux spongieux de diverses grosseurs, et de blocs composés de fragments de la roche de la montagne. La plus grande partie des matières rejetées par le volcan consistait en un sable fin qui, sec, est d'un gris jaunâtre, et, humide, devient à peu près noir; ce sable contient du feldspath plagioclase, de l'hypersthène, de l'augite de la magnétite et des fragments de verre; il représente un magma (hypersthène, andésite) assez bien cristallisé, réduit en poudre par l'expansion de la vapeur occluse.

Les matériaux plus gros sont surtout composés d'andésite calcinée avec cristaux de plagioclase et de pyroxène. Il y a peu de ponce, quoique nous en ayons obtenu quelques frag-

ments flottants sur l'eau. Les blocs rejetés consistaient en andésite et en tufs andésitiques comme ceux existant dans les parois du cratère; ils étaient très nombreux et quelques-uns avaient plus de $1^m,50$ de grosseur. Un autre type de blocs très communs dans certaines parties de la montagne est un agrégat à gros grains de feldspath, de hornblende (brune sous le microscope) et peut-être d'olivine ; il n'est pas vésiculaire et ne renferme que peu ou point de verre, étant d'apparence holocristalline. Ces roches sont très friables et les cristaux sont agrégés sans liaison entre eux ; elles nous paraissent comparables aux sanidines de l'Eiffel et de beaucoup d'autres régions volcaniques modernes; elles diffèrent certainement, aussi bien comme structure que comme caractères de leurs minéraux, des vraies diorites plutoniques. On peut remarquer qu'aucune de ces roches n'est caractéristique de cette éruption ; toutes peuvent être trouvées parmi les vieux matériaux de la montagne.

Effets produits par le souffle chaud. — A mesure que nous gravîmes la Soufrière, l'évidence du passage d'un souffle chaud chargé de sable devint de plus en plus nette. La région est couverte de $0^m,90$ à 1 mètre de sable et scories ; les arbres sont dénudés, leurs feuilles ayant été détruites par les cendres; mais il y a peu de branches cassées. Les ouvrages en bois des maisons ne sont pas brûlés, mais nombre de toits se sont effondrés sous la charge des cendres. Beaucoup de gens ont péri, et les survivants nous racontent comment le nuage noir est descendu de la montagne et combien était chaud et suffocant l'air dans lequel ils se trouvèrent enveloppés. Il est évident pourtant que la vitesse du nuage chaud n'a pas dépassé celle des tempêtes ordinaires et que, bien que très chaude, la poussière n'était pas incandescente.

Sur le sol plat, au-dessus des bâtiments des plantations (à une altitude d'environ 300 mètres), la dévastation était plus

complète : les champs entièrement dénudés ; les arbres écrasés, mais en général pas déracinés; leurs petites branches arrachées; une couche épaisse de sable noir recouvre les récoltes de cannes à sucre. Un peu plus haut, les effets du souffle embrasé ont été remarquables. D'énormes arbres ont été déracinés et renversés; leurs feuilles et leurs branches fines ont disparu ; même les gros cotonniers de 3 mètres de diamètre et plus ont été renversés et arrachés. Les plus petits arbres ont été balayés comme des fétus de paille, les plus gros gisent côte à côte, le sommet dirigé vers la vallée, leurs racines vers le sommet. La plupart sont carbonisés et quelques-uns le sont profondément ; mais comme le bois était vert, seules les petites branches ont été consumées. L'effet est un peu celui produit par un violent ouragan, mais plus complet, car nombre des arbres arrachés avaient résisté à l'ouragan qui dévasta Saint-Vincent en 1898.

Plus haut encore, c'est-à-dire vers 450 mètres d'altitude, il ne reste plus grand'chose de la riche végétation tropicale qui couvrait la montagne de la base au sommet. Les parties hautes sont complètement dénudées et présentent un aspect aussi désolant qu'on puisse l'imaginer. La couche de cendre y atteint de $1^m,50$ à $3^m,60$ d'épaisseur et, quoique remplie de gros blocs et de blocs spongieux, elle est si fine que dès qu'elle est mouillée elle tourne en une boue fine, très tenace, grasse, dans laquelle on enfonce jusqu'aux genoux.

La limite entre la zone des arbres arrachés et celle des arbres simplement cassés est très nette.

Modifications géologiques. — A part les changements survenus dans le cratère et les dépôts de cendres qui se sont formés dans les vallées des rivières et sur la surface de la montagne, la seule modification géologique importante du pays a été la disparition d'une bande étroite de côte le long du côté sous le vent de l'île. Près de l'embouchure du Wallibu et de là vers le nord jusqu'au Morne-Rouge, la mer a

envahi le sol sur peut-être 200 mètres. Des disparitions similaires, quoique moins importantes, se seraient également produites en plusieurs points plus au nord. Il n'y pas de trace de changement de niveau du sol ni de la mer ; les traces des marées le long des rochers et l'examen des points d'embarquement des villages nous permettent d'assurer que le niveau des hautes eaux n'a pas varié à quelques centimètres près. Il est clair que les altérations de la ligne côtière sont dues à des disparitions locales. Les pentes sous-marines, du côté sous le vent de Saint-Vincent, sont très abruptes, 25 pour 100 en moyenne ; à 800 mètres de la côte, on trouve déjà des profondeurs de plus de 180 mètres.

Comparaison entre la Soufrière et le Mont-Pelé. — A notre arrivée à la Martinique, nous eûmes le plaisir de rencontrer M. Lacroix, le chef de la Commission Scientifique Française, qui nous fournit des renseignements des plus intéressants sur les événements et leurs conséquences géologiques dans cette île.

Le Mont-Pelé et la Soufrière sont des volcans du même type, simples cônes avec large évent près du sommet et sans cratères parasites. Ils sont tous deux creusés de profonds ravins, et sur leurs flancs sud-ouest s'étendent de larges vallées — occupées à la Martinique par la ville de Saint-Pierre, à Saint-Vincent par le Wallibu. C'est dans ces vallées que la destruction a été le plus prononcée. Dans les deux îles, les éruptions récentes ont été caractérisées par des décharges de cendres et une complète absence de courants de lave.

A Saint Vincent toutefois, la masse des matériaux rejetés a été beaucoup plus grande, et la superficie dévastée a été beaucoup plus étendue qu'à la Martinique ; ce n'est que grâce à l'absence d'une cité peuplée au pied de la montagne que le nombre des victimes a été relativement restreint. Si Saint-Pierre avait été édifiée à l'embouchure du Wallibu, il

est certain qu'elle aurait été également totalement détruite.

Au Mont-Pelé, une fissure s'est ouverte sur le flanc sud de la montagne, entre le sommet et Saint-Pierre, fissure d'où a été émise l'éruption brûlante qui a couvert la ville ; à la Soufrière, c'est par les anciens orifices que se sont faites les projections. L'éruption du Mont-Pelé a commencé par un flot de laves boueuses, alors qu'on n'en a pas vu à la Soufrière. D'autre part, le souffle brûlant qui a tout balayé à Saint-Pierre était essentiellement similaire à celui décrit comme s'étant produit à Saint-Vincent. Les deux éruptions produisirent surtout du sable chaud et des poussières avec une petite proportion de blocs.

Le 2 septembre une nouvelle éruption se produisit et une partie du sommet de la Soufrière fut projetée dans les airs (voir n° **284**).

SIXIÈME PARTIE

—

LE VOLCANISME & LES RICHESSES DU GLOBE

CHAPITRE PREMIER

—

RÉGIONS MINIÈRES
EAUX THERMO-MINÉRALES — PÉTROLE

---

281. — Les manifestations des forces internes que nous avons décrites jusqu'ici nous sont apparues sous les couleurs les plus sombres, car ce ne furent que désastres, ravages de toutes sortes. Mais si, comme nous l'avons indiqué au début de cet ouvrage, on envisage le *volcanisme* sous son aspect le plus général, on est amené à reconnaître que c'est à lui que l'humanité doit la plus grande partie de ses richesses et que ses bienfaits compensent largement les malheurs que parfois il produit.

La plupart des filons métalliques ne sont-ils pas le remplissage de fissures formées par un jeu de l'écorce du globe ?

Les eaux thermo-minérales ne doivent-elles pas souvent

leur thermalité au feu central et leur acide carbonique aux mofettes?

Combien de minéraux de valeur dont la formation se rattache de près ou de loin au volcanisme, depuis le *Péridot* et la *Zircon* des basaltes, jusqu'à l'*Opale* des tufs trachytiques de la Hongrie?

Parlerons-nous du *pétrole*, l'un des gros facteurs de l'avenir? bien que son mode de formation ne soit pas déterminé d'une façon absolument précise, tant de liens paraissent exister entre lui et le volcanisme que nous ne saurions faire autrement que de lui consacrer quelques lignes.

282. Filons métallifères. — Si l'on jette les yeux sur une carte du monde portant l'indication des gisements métalliques, on constate qne les minerais sont amassés par paquets en certains points des pays et sans qu'il paraisse exister de liens entre une zone minière et les autres. Si, en même temps, on consulte une carte géologique, on voit de suite que les zônes métallifères sont recoupées par un grand nombre de failles, qu'elles occupent ce que l'on appelle un champ de fractures et que souvent une relation existe en deux zônes éloignées l'une de l'autre.

Continuant l'investigation, on retrouve dans le voisinage du champ de fractures un massif montagneux fortement accentué souvent replié sur lui-même, quelquefois rejoint dans le voisinage de la région fracturée par une chaine de montagnes; enfin, très souvent, la carte porte l'indication de cratères volcaniques éteints ou en activité dans le massif qui borde le champ de fractures.

Quelques exemples.

En France, le bassin minier de l'Auvergne au pied de la chaîne des Puys.

En Espagne, les gites de plomb de la province de Linarès et de l'Andalousie dans le voisinage de volcans éteints.

En Allemagne, les grands champs de filons du Harz, de la Silésie, de la Bohême, de la Hongrie à proximité de vieux cratères.

En Amérique, les bassins miniers de la Colombie, du Chili, de la Bolivie, du Mexique aux pieds des Cordillères des Andes et des Montagnes Rocheuses jalonnées de volcans en activité de nos jours.

C'est que le phénomène qui provoque la saillie de la chaîne de montagnes s'accompagne presque toujours, nous l'avons vu, de la formation de failles, de fissures qui intéressent la région à une grande distance du centre de poussée.

Ces failles étaient des chemins tout indiqués pour la circulation des eaux chaudes chargées de principes métalliques qu'elles déposaient le long de leur route, — et pour la canalisation de fumerolles chargées de vapeurs métalliques dont le dépôt s'effectuait sur les parois de la fissure.

En résumé, si l'on ne trouve pas toujours de volcans actifs ou éteints à proximité de régions minières, on trouve presque toujours des gisements miniers aux alentours d'un massif volcanique.

283. Sources thermo-minérales.— Toutes les eaux thermales doivent leurs propriétés au noyau igné, qu'elles acquièrent la thermalité soit par le seul fait d'une circulation à grande profondeur, soit par un trajet à faible profondeur étant canalisées par une faille d'un massif volcanique moderne et encore actif ou d'un massif ancien encore chaud [1].

Dans l'un et l'autre cas, des mofettes d'acide carbonique pourront déboucher dans la faille canalisant l'eau ; celle-ci deviendra gazeuse en même temps que l'acide carbonique

[1] Fr. Miron. — *Les eaux souterraines, chez Gauthier-Villars.*
De Launay. — *Les eaux thermo-minérales, chez Béranger.*

lui permettant d'attaquer les feldspaths des roches de la profondeur, elle se chargera de principes alcalins.

Tout autour des massifs volcaniques les sources thermo-minérales bicarbonatées sodiques ou bicarbonatées calciques abondent.

Vichy, Royat, St-Nectaire, Vic-sur-Cère entourent le massif volcanique d'Auvergne ; à Naples, à l'île d'Ischia les sources thermo-minérales abondent, sans parler de celles qui justifient à l'étranger la liaison du volcanisme et des sources thermo-minérales.

284. Pétrole. — Bien que sa découverte date de 1859, de nombreuses théories ont été proposées pour expliquer sa formation sans que, comme nous le disions plus haut, on soit aujourd'hui beaucoup plus avancé qu'au début.

Les uns attribuent la formation du pétrole à la décomposition d'amas organisés, de bancs de poissons, de mollusques, etc... qui auraient été recouverts ultérieurement par des couches nouvelles du sol. Ils se basent sur la présence de restes organiques d'animaux, de plantes dans les gisements et sur la possibilité d'obtenir un produit analogue par distillation, sous pression, de matières grasses.

A cette théorie, on objecte que le carbone à l'état de diamant, de graphite, de bitume est fréquent dans les roches les plus anciennes, granite, granulite, gneiss, micaschiste en dessous desquels on ne saurait supposer un lit de restes organiques — qu'enfin le pétrole diffère de l'huile de poisson laquelle est riche en oxygène.

Pour Berthelot, Daubrée, le pétrole résulterait d'une synthèse organique :

L'acide carbonique renfermé dans les profondeurs réagirait sur les métaux alcalins *libres* du noyau igné, formerait des acétylures que la vapeur d'eau décomposerait en oxyde du métal et acétylène. Ce dernier, sous l'influence de la

chaleur et de la pression produirait les hydrocarbures du pétrole ainsi du reste que M. Berthelot l'a réalisé dans son laboratoire.

Une troisième théorie préconisée par Ste-Claire Deville, à la suite de son étude des hydrocarbures dans les fumerolles implique au pétrole une origine volcanique (1).

Elle repose sur ce fait que :

« Les poches de pétrole ont été rencontrées sur toute l'échelle des terrains, depuis le micaschiste du Venezuela jusqu'au terrain tertiaire du Caucase ;

Dans une zone déterminée, les poches se trouvent dans l'une quelconque des assises du sol à condition que cette assise renferme des couches perméables ;

Les gisements pétrolifères se trouvent uniquement dans les régions plissées, parallèlement à une chaîne de montagnes, et sur la courbure externe des plissements. »

Ces faits résultant de l'étude des gisements dispersés en tous les points du globe, il semble donc bien qu'il y ait une relation étroite entre la présence du pétrole et les plissements voisins. Mais quelle est l'origine, la source du pétrole aussi bien ici, que dans les fumerolles volcaniques ?

Il est bien difficile, croyons-nous, d'avancer une hypothèse sérieuse à cet égard.

L'hydrogène pourrait bien être fourni par l'eau, mais d'où viendrait le carbone ? Il est vrai qu'on en trouve dans les micaschistes et les gneiss. Peut-être, suivant l'hypothèse de M. de Launay, voir n° **96**, existe-t-il combiné aux métaux, dans le noyau igné, et réagissant sur la vapeur d'eau, dans des conditions particulières, forme-t-il des hydrocarbures ?

Ou bien, l'hypothèse de Daubrée et Berthelot, formation d'acétylures alcalins et décomposition ultérieure par la vapeur d'eau, indique-t-elle la genèse des hydrocarbures

(1) Fr. Miron. — *Les huiles minérales* chez Masson.

qui par la suite se sont accumulés et ont été comprimés sous les voussoirs, au cours des mouvements de plissement de l'écorce dans laquelle nous trouvons aujourd'hui le pétrole, comme une trace du travail gigantesque accompli dans l'évolution de notre planète.

APPENDICE

—

285. Théorie des phénomènes volcaniques de M. Stubel, de Leipzig. — L'énergie éruptive résiderait dans la lave elle-même, — le magma, ainsi que le dénomme M. Stubel — et, comme preuve, ce géologue rappelle que sur les coulées se forment des fumerolles, des cônes, des cônes de scories, des explosions, etc., phénomènes reproduisant, en petit il est vrai, les phases d'une éruption.

L'origine du *magma* est l'objet de toute une théorie nouvelle que l'auteur appuie sur des coupes géologiques, des études pétrographiques et dont le résumé peut être ainsi présenté.

Vers la fin de sa *vie solaire*, la Terre se couvrit d'une couche de matériaux solidifiés par refroidissement à la surface de laquelle des produits internes se déversèrent par les failles, en formant ce que M. Stubel appelle une *cuirasse*.

Ces épanchements continuèrent à se produire mais, de plus en plus difficilement, au fur et à mesure que la croûte solide devenait plus épaisse, et ils formèrent des *foyers périphériques*, susceptibles eux-mêmes de donner lieu à des *épanchements secondaires*.

Lorsque seules, quelques failles encore libres, permirent l'écoulement des laves, il se produisit à leur ouverture extérieure des épanchements de grande étendue, sous forme de

plateaux, et, par retrait, les *cirques*, les *couronnes* rappelant les cratères lunaires.

La Terre a perdu sa luminosité, et les éléments condensables de l'atmosphère sont précipités et collaborent à la production des roches cristallines.

Les phénomènes geysériens se localisent, et l'eau froide circulant à la surface, permet l'éclosion de la vie et remanie les dépôts anciens, enfouit certains foyers périphériques tandis que les manifestations volcaniques des autres foyers périphériques diminuent d'ampleur.

Les volcans actuels seraient dus à ceux de ces foyers périphériques qu'enfouirent les dépôts sédimentaires ; pour M. Stubel, les plateaux basaltiques, tertiaires et post-tertiaires des Indes, de l'Amérique du Nord, de l'Islande, de l'Abyssinie, de la Syrie, auraient cette origine. Enfin, pour l'auteur, les soubassements des volcans modernes auraient une origine semblable à celle du *Giorgios* (voir n° **243**), et seraient dus à une poussée lente venue de l'intérieur.

A ces amas, M. Stubel donne le nom de *volcans néogènes*, et rappelle qu'ils se présentent sous la forme de dômes surbaissés, massifs, incompatibles avec une formation par coulées successives alternant avec des projections de débris, — généralement entourés d'un bourrelet et portant au sommet une dépression.

Quand, par la suite, soit par le jeu des forces internes seul ou combiné à l'action destructive des agents atmosphériques, le *volcan néogène* rentrant en activité se complète d'un cône de débris poussé à son sommet déprimé, ce cône est désigné par M. Stubel sous le nom de *volcan polygène*, aux yeux duquel les alternances de repos et d'activité des bouches ignivomes seraient une preuve que les foyers volcaniques sont localisés et sans communications avec le noyau central.

Si l'on admet cette théorie, on arrive aux conclusions suivantes :

L'écorce terrestre aurait une épaisseur supérieure à celle qu'on lui attribue généralement.

Les séismes et les éruptions auraient leur siège dans l'intérieur de l'écorce.

. Les plissements montagneux seraient indépendants des mouvements de contraction.

Les roches cristallines ne forment pas la surface de l'écorce planétaire, et leur nature éruptive resterait à établir.

Les laves déversées actuellement seraient les produits de mélanges d'âge différent.

286. Les tremblements de terre et le calendrier. — Les nombreuses statistiques des tremblements de terre font ressortir des points intéressants quand on établit certains rapprochements entre le nombre des séismes observés et les dates correspondantes.

Tout d'abord, c'est la nuit que les séismes se produisent de préférence. Ainsi sur 502 secousses enregistrées, on en compte :

De minuit à 6 heures du matin	180
De 6 heures du matin à midi.	101
De midi à 6 heures du soir	81
De 6 heures du soir à minuit	140

Au Japon, on a constaté que les secousses nocturnes représentent 70 % du total.

Le moment le plus dangereux serait de 11 heures du soir à 2 heures du matin ; à midi, au contraire, le danger serait le moindre.

Au point de vue de la répartition dans les douze mois de l'année, la période la plus mauvaise semble s'étendre de novembre à mai.

Sur 656 séismes observés en France les $\frac{3}{5}$ se sont produits pendant cette période.

Dans le Valais on a enregistré une seule secousse en été par opposition à 97 en hiver.

Les 144 grands séismes signalés pendant le XVIIIe siècle et la première moitié du XIXe se répartissent comme suit :

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
XVIIIe siècle	3	3	4	2	1	2
XIXe »	9	6	10	9	9	7

	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
XVIIIe siècle	3	4	5	8	3	3
XIXe »	4	11	11	9	11	7

Soit :

En hiver	33
Au printemps	31
En été	39
En automne	41
	144

Dans les Alpes, d'après Volger, 1 235 secousses ont été produites aux époques suivantes :

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
150	149	139	119	58	54
Juillet	**Août**	**Septembre**	**Octobre**	**Novembre**	**Décembre**
40	47	117	111	83	168

Soit :

Pour le printemps et l'été . . .	475 secousses
» l'automne et l'hiver . . .	760 »

287. — M. de Montessus a voulu vérifier si les séismes sont plus nombreux :

1° Aux époques des syzygies qu'à celles des quadratures ;

2° Aux époques des périgées lunaires qu'à celles des apogées ;

3° Aux passages de la lune au méridien.

Et il a porté ses investigations sur 4943 séismes.

Pour la comparaison aux syzygies et aux quadratures il a trouvé :

A la nouvelle lune.	1 225	séismes
Au premier quartier	1 221	»
A la pleine lune	1 278	»
Au dernier quartier	1 218	»

L'excès, à l'époque de la pleine lune, n'est que 1 % du total.

En vérifiant la deuxième hypothèse M. de Montessus trouva : 2543 séismes aux périgées, contre 2400 aux apogées, soit un excès de 3 % en faveur de l'hypothèse.

Enfin, il constata sur 3589 séismes, qu'il y en avait eu 40 de plus au moment du passage supérieur de la lune au méridien que quand elle est à 90° et qu'il y eut 153 séismes dans l'heure précédant la culmination pour 144 séismes dans l'heure qui la suit.

Les conclusions du travail de M. de Montessus appuieraient à la théorie des influences sidérales.

288. Le volcanisme en 1902. — Il n'est peut-être pas, dans l'Histoire, une année plus riche que 1902 en manifestations sismiques : tremblements de terre, éruptions. Sur toute la grande ceinture volcanique qui enserre le globe on a constaté et l'on constate encore l'action des forces internes :

Le 13 février, tremblement de terre et éruptions boueuses au Nord-Ouest du Caucase ; la ville de Chemacha est détruite et 5 000 personnes perdent la vie.

Le 12 mars, tremblement de terre aux Nouvelles Hébrides.

Le 10 avril, tremblements de terre en Finlande.

Le 12 avril, tremblements de terre dans la région du lac Baïkal, en Sibérie.

Le 3 avril, la Montagne Pelée, à la Martinique, lance ses premières cendres.

Le 18 avril, tremblements de terre au Guatemala; destruction des villes de Quezeltemango et d'Amaltichan et mort de 2000 victimes.

Le 22 avril, le volcan Tocana, au Guatemala, entre en éruption.

En mai, un effondrement sous-marin se produit à 30 kilomètres au S des îles Baléares et provoque un tremblement de terre qui cause des dégâts en Andalousie et se fait sentir, en France, à Bordeaux, à Grenoble, à Nice.

La répercussion de l'effondrement provoque des secousses sismiques aux Antilles et dans l'Amérique centrale.

Le 23 mai, tremblement de terre aux îles Sandwich; le Mauna Loa lance des flammes.

Le 26 mai, le Mount Redoulet, à la frontière du Canada et de l'Alaska, lance des cendres et les neiges qui recouvrent son cratère à 4000 mètres d'altitude fondent et inondent la région.

Le 8 mai, éruption de la Montagne Pelée, destruction de Saint-Pierre. — Eruption de la Soufrière de Saint-Vincent, de la Soufrière de la Guadeloupe.

Le 20 mai, éruption de la Montagne Pelée.

Le 26 mai, sept secousses de tremblement de terre sont enregistrées en Hongrie.

Le 2 juin, éruption boueuse du Gruey-Grau dans le Caucase, destruction d'habitations.

En juin, reprise d'activité du Iowa, aux Etats-Unis, du Colima, au Mexique, du Tolima, en Colombie.

Tremblement de terre à Oloron (Basses-Pyrénées).

Tremblement de terre à Pedrosa (Portugal), destruction d'habitations, crevasses du sol d'où jaillissent des flammes et de la poussière.

Au Cap de Bonne Espérance, tremblement de terre et destruction d'édifices.

Lueurs crépusculaires à Madère.

Le 3 juin, tremblement de terre dans l'Australie du Sud.

Le 4 juin, tremblement de terre à Velletri (Italie).

Eruption d'un volcan près la Paz, dans le Chaco, destruction de deux villages.

Le 4 juin, séisme prolongé à Cranborne (Cornouailles), destruction d'habitations.

Le 19 juin, tremblement de terre très violent dans la région comprise entre Simla et Chitral, au pied de l'Himalaya.

Le 25 juin, lueurs crépusculaires à Kings Lyun.

Le 26 juin, lueurs crépusculaires à Lindus.

Le 1er juillet, lueurs crépusculaires en Allemagne.

Le 5 juillet, un tremblement de terre détruit le village de Bani dans le villayet de Salonique et fait plusieurs victimes.

Le 8 juillet, séisme à Cheadle, Cheshire.

Le 9 juillet, violent tremblement de terre à Bender-Abbas.

Le 10 juillet, explosion de grisou dans les mines de Cambia, aux Etats-Unis, semblant en relation avec les séismes constatés dans la contrée.

Le 14 juillet, tremblements de terre, lueurs crépusculaires, la pluie est accompagnée d'une cendre bleu ardoise.

Au mois d'août, le prince de Monaco constate que le plateau sous-marin des Açores est déserté par les poissons et qu'un cable télégraphique sous-marin est brisé par fusion. Peut-être existe-t-il une relation entre ces deux particularités et les éruptions de la Martinique.

Les 13 et 15 août, éruption du Thori-Sima, dans l'île du même nom. Destruction de villages et de 200 habitants.

Le 22 août, un violent tremblement de terre détruit plusieurs villages du Katchkar, au nord du Turkestan. Le phénomène le plus remarquable fut l'élévation de la température qui se manifesta aussitôt après la secousse et se poursuivit pendant une semaine, en même temps que se produisaient de nombreuses secousses légères.

Le 27 août, tremblement de terre dans l'île de Mendanao, aux Philippines ; 100 victimes.

Le 30 août, éruption de la Montagne Pelée.

Le 30 août, des détonations sont entendues tout le long de la mer des Caraïbes. Séisme à Carupano (Venezuela).

Le 30 août, le volcan Manangua est de nouveau entré en activité.

Le 30 août, grande éruption de la montagne Pelée.

Les 2 et 3 septembre, éruption de la Soufrière.

Le 3 septembre, le Kilauea, aux îles Havaï, vomit des flammes et des secousses ébranlent l'île.

Le 6 septembre, le Vésuve lance des flammes.

Le 9 septembre, la Soufrière de Saint-Vincent rejette des produits liquides qui coulent jusqu'à la mer.

Le 10 septembre, le volcan Chullapata, à 27 kilomètres de Celandini, au Pérou, lance des cendres, et à 50 kilomètres de distance, on entend le fracas des détonations.

Le 10 septembre, la colonne de fumée du Vésuve est plus intense et, la nuit, elle est complètement éclairée.

Le 11 septembre, nouvelle éruption du Mount Redoulet dans la chaîne Augustine de l'Alaska, près de la frontière du Canada. Le volcan voisin Illiama lance des cendres.

Le 14 septembre, tremblement de terre à Soukharas, Algérie.

Le 14 septembre, deux nouveaux cratères se sont formés sur le Stromboli.

Le 19 septembre, tremblement de terre à Adélaïde (Australie). Les dégâts sont considérables.

Le 20 septembre, éruption de la Soufrière à Saint-Vincent.

Le 20 septembre, tremblement de terre à Sainte-Lucie.

Le 25 septembre, l'Etna lance des nuages de fumée et de vapeurs blanches, près de Montegrosso, théâtre de l'éruption de 1892.

Le 25 septembre, les laves du Stromboli coulent sur les flancs du mont.

Le 28 septembre, six secousses sont enregistrées à Annecy.

Le 28 septembre, des mouvements sismiques ont été enregistrés dans l'arrondissemént de Moutiers (Savoie). Trois secousses successives ont été ressenties. Elles ont duré chacune quelques secondes.

Le 15 octobre, l'éruption de la Soufrière de Saint-Vincent cause de grands ravages dans un rayon qu'on croyait à l'abri des atteintes du volcan. Le sol est enseveli sous la cendre brûlante. Il n'y a aucune mort à déplorer, mais beaucoup d'habitants ont quitté Georgetown pour Kingston.

Le 19 octobre des secousses de tremblement de terre auraient été ressenties dans le Sud-Est du Tenessee et le Nord-Ouest de la Georgie (Etats-Unis).

Le 23 octobre une secousse de tremblement de terre a été ressentie à Velletri, à Citta-Ducale, à Terni (Italie), mais principalement à Ricti où la panique a été très grande. Quelques maisons ont été endommagées.

Le 23 octobre, une violente éruption s'est produite au mont Izalco (Salvador). La montagne a rejeté de la lave et des pierres et il existe cinq larges ouvertures sur le flanc nord du volcan.

Le 30 octobre, les éruptions continuent au Guatemala. Les projections volcaniques qui sont tombées ont formé une couche épaisse à Quezeltemango et les riches plantations de

café sur la côte sont ensevelies sous une couche de sable et de cendres de deux mètres d'épaisseur.

On signale une autre éruption dans le département de Tombador.

Le 6 novembre, la ville d'Ocos (Mexique), autrefois l'un des principaux ports sur le Pacifique, a presque complètement disparu dans la mer ; elle avait été déjà fort atteinte par le tremblement de terre du mois d'avril 1902.

Le 14 novembre, le volcan de l'île Savaï, qui fait partie du groupe des Samoa, est entré en éruption. Cinq ou six cratères lancent de la fumée et des flammes. Un village est couvert de deux pouces de cendres.

Le 14 novembre, le volcan Santa-Maria (Guatemala) est rentré en activité. Les récentes éruptions du volcan de Santa-Maria ont fait périr, dit-on, plusieurs centaines de personnes et ont causé de grands dégâts. Les cendres qui recouvrent le pays avoisinant arrivent jusqu'à la toiture des maisons. La mer, sur une distance de plusieurs milles, est recouverte d'une couche de matières volcaniques.

Le 17 novembre, pendant la nuit, on a ressenti, à Salonique, plusieurs secousses de tremblement de terre, dont deux assez fortes : la première à 1 h. 5 du matin et l'autre à 6 h. 1/2. Durée de 4 à 5 secondes ; direction du N.-E. à S.-O. Elles étaient précédées d'un bruit souterrain très distinct. Les meubles ont été fortement secoués. La température était très froide et toutes les montagnes couvertes de neige.

Le 18 novembre, éruption de la montagne Pelée, avec formation du nuage noir en chou-fleur sur la vallée de la Rivière Blanche.

Le 20 novembre, une nouvelle secousse de tremblement de terre a été ressentie, à six heures du soir, à l'Oued-Marsa, département de Constantine. L'oscillation, très violente, a duré une seconde, allant du nord au sud.

Le 22 novembre, une violente secousse de tremblement de terre a été ressentie à trois heures du matin à Kingstown (Jamaïque).

Le 28 novembre, le mont Pelée, à la Martinique, entre à nouveau en éruption. Le cône central, qui est incandescent, s'écroule et se reforme tout à fait différemment. La fumée s'élève à une hauteur de trois kilomètres.

Le 29 novembre, un tremblement de terre, causant un grand émoi, a été ressenti, au Sud-Est, et se dirigeant vers l'Ouest, à la Tessouale et aux Gardes (Maine-et-Loire), une première secousse s'était déjà produite quelques jours avant.

Le 30 novembre, le capitaine d'un garde-côtes russe a déclaré avoir rencontré, flottant vers les côtes du Kamtchatka, une masse énorme de poissons morts.

Marchant à 8 nœuds à l'heure, le navire mit deux heures à traverser ce banc composé, en grande partie, de salmonides de toutes les espèces. La masse errante couvrait une étendue d'à peu près 65.000 mètres carrés, à 50 kilomètres de toute terre.

On peut attribuer cette hécatombe à l'éruption d'un volcan sous-marin inconnu.

Le 5 décembre, les habitants de Belle-Ile ont été réveillés, pendant la nuit, par un tremblement de terre qui n'a pas duré moins de cinq minutes. Dans les campagnes, sur les hauts plateaux, la trépidation du sol a été très violente et a même occasionné des dégâts.

La secousse a été ressentie dans le Sud-Est vers minuit, alors qu'elle ne passait qu'à minuit et demi dans le Nord-Est. Des pendules, arrêtées à ces heures différentes, précisent ce détail.

La même commotion a été ressentie sur mer aux environs de l'île.

Le 9 décembre, pendant la nuit, entre minuit et minuit et demi, les habitants de Belle-Ile ont été réveillés en sursaut

par un grondement souterrain qui se fit entendre pendant une minute environ. Le bruit était accompagné d'un tremblement de terre qui a ébranlé assez fortement l'île. Quelques maisons sont, paraît-il, lézardées à Palais. La partie nord-ouest de l'île semble avoir été plus fortement secouée. A Sauzon, dans différentes maisons, des meubles ont bougé, et des objets, mal équilibrés, ont été brisés. Des pêcheurs, croyant à une explosion du gaz à l'usine Amieux, se sont levés et sont allés à l'usine se rendre compte de ce qu'il pouvait y avoir. Après la secousse terrestre, dans le nord-ouest on vit une clarté qui dura une heure et demie ou deux heures. On pouvait voir l'heure aux montres comme par un clair de lune.

Le 10 décembre, on constate que de nombreux indices font craindre une éruption prochaine du Vésuve. On a, en effet, découvert, dans le cratère, de nouvelles ouvertures en activité.

Le 16 décembre, un tremblement de terre dont les secousses se manifesteront plusieurs jours durant, se manifeste dans le Turkestan russe, et notamment dans la province de Ferghannah.

Le 16, à neuf heures du matin, une première secousse dura 3 minutes, puis, à dix heures et demie, une deuxième plus faible. Les secousses furent d'abord verticales puis elles prirent une forme ondulatoire. Le mouvement était dirigé du N.-E. au S.-O. Ces deux séismes causèrent la destruction de la ville d'Andidjan, capitale du Ferghannah. D'autres secousses achevèrent de tout détruire et pendant plusieurs jours le phénomène se reproduisit, détruisant 16.000 maisons et causant la mort de 2.500 personnes, à Andidjan.

Un vent violent soufflait depuis quelques jours, et un brouillard dense, presque un nuage, enveloppait la ville.

Le 16 décembre, date que nous avions signalée comme la plus dangereuse dans la période comprise entre le 15 sep-

tembre et le 31 décembre 1902, le mont Pelé, à la Martinique, eut une violente éruption.

Une nuée ardente descendit du cratère couvrant la mer sur une longueur de 5 kilomètres et faisant pleuvoir une grêle de pierres et de cendres dont la température, deux jours après, était encore de 120° C.

La mission Lacroix, qui se trouvait à bord du *Jouffroy*, dut de n'être pas engloutie à ce qu'elle avait été retenue un *quart d'heure* de plus qu'il n'était convenu par l'envoi d'une communication téléphonique.

Le 3 janvier, cinq volcans seraient en activité dans la province de Llanquihue (Chili).

Le 7 janvier, au matin, entre 4 h. 55 et 5 heures, on a senti des secousses assez violentes de tremblement de terre dans certaines localités des cantons de Saint-Gall, des Grisons et de Glaris, en particulier à Ragaz, à Wallenstadt, à Sargans, à Coire, à Glaris (Suisse).

Le 23 janvier, un nuage incandescent est sorti de la Soufrière, à l'île Saint-Vincent, en tourbillonnant, suivi d'un jet de fumée noire projetée à une grande hauteur et qui fut visible de toute l'île.

Une pluie de sable est tombée sur Château-Bel-Air.

Le 26 janvier 1903, une nouvelle éruption projeta dans les airs une partie du cône décrit dans les rapports de M. Lacroix.

Le 28 janvier, on télégraphie à l'observatoire de Catane que le Stromboli entre en éruption. On entend de fortes détonations. Des masses de lave sont projetées à une hauteur formidable. Une vapeur rougeâtre sort, par bouffées, des cratères.

Le 29 janvier, le Vésuve vient d'entrer inopinément dans une période d'activité ; il en jaillit une grande quantité de lave incandescente, qui éclaire toute la baie de Naples, y compris Sorrente et Capri. Les détonations sont très fré-

quentes. Les habitants des villages situés au pied du volcan sont très inquiets.

Le 30 janvier, un fort tremblement de terre a été ressenti dans le village de Milo. La secousse s'est étendue à Acireale et à Catane.

Le 31 janvier, une très violente secousse de tremblement de terre, heureusement de courte durée, orientée de l'ouest à l'est, s'est produite dans la région montagneuse, aux environs de Hèches, près Tarbes.

289. Tableau chronologique des principaux cataclysmes sismiques et volcaniques.

An	79	avant notre ère	Herculanum et Pompei . .	50000 victimes.
»	1667	après notre ère	Chemacha (Caucase) . . .	30000 »
»	1692	»	Port-Royal (Jamaïque) . .	3000 »
»	1693	»	Sicile, 54 villes, 300 villages et Catane sont détruits. .	100000 »
»	1703	»	Yedo (Japon) détruit . . .	210000 »
»	1731	»	Hsinou-Hoa au N. de Pékin détruit	120000 »
»	1746	»	Lima et Callao (Pérou) . .	18000 »
»	1751	»	Port au Prince (Haïti) . .	3000 »
»	1755	»	Anito (Equateur)	5000 »
»	1755	»	Lisbonne détruite	50000 »
»	1767	»	La Martinique, éruption du Mont-Pelé	800 »
»	1783	»	Sainte-Lucie	900 »
»	1797	»	Les Andes Péruviennes et Colombiennes.	140000 »
»	1812	»	Caracas détruite	12000 »
»	1839	»	Port-Royal	700 »
»	1842	»	Cap Haïtien	4000 »
»	1843	»	Pointe à Pitre	» »
»	1859	»	Anito (Equateur)	5000 »
»	1868	»	Areguipu (Pérou)	20000 »
»	1883	»	Krakatoa (îles de la Sonde).	35000 »
»	1895	»	Kamaichu (Japon)	51000 »
»	1902	»	Chemacha (Caucase) . . .	5000 »
»	1902	»	Guatemala.	700 »
»	1902	»	St-Pierre de la Martinique .	30000 »
»	1902	»	Ile Saint-Vincent	3000 »
»	1903	»	Andidjan (Turkestan). . .	2500 »

290. Répartition des volcans actifs à la surface du globe.

Volcans continentaux

Europe Continentale	1
Afrique Continentale	17
Asie Occidentale	5
Arabie	1
Asie Centrale	5
Kamschatka	22
Etats-Unis	8
Alaska	3
Mexique	9
Guatemala	6
San Salvador	4
Honduras	1
Nicaragua	10
Costa Rica	4
Quito	14
Pérou et Bolivie	6
Chili	17

Volcans Insulaires

Nouvelle-Guinée	3
Nouvelle-Zélande	3
Iles Aléoutiennes	31
Iles Kouriles	10
Japon	17
Iles situées entre le Japon et les Philippines	8
Iles Philippines, Molluques et de la Sonde	49
Iles européennes	6
Islande	9
Iles africaines	11
Ile de Jean Mayen	2
Iles Açores	6
Iles Canaries	3
Archipel des Antilles	7
Terres arctiques	2
Volcans sous-marins de l'Océan Atlantique	3
Volcans sous-marins de l'Océan Indien	5
Volcans sous-marins de l'Océan Pacifique	25
Volcan sous-marin du golfe du Bengale	1
Volcans sous-marins de la Méditerranée	2

ERRATUM

—

Dans les formules indiquées dans l'exposé de la théorie des phénomènes volcaniques de M. Armand Gautier, au n° **214**, *il faut lire* C^2H^4 *au lieu de* CH^4.

TABLE DES FIGURES

Figure 1. Isoséiste du tremblement de terre de Ligurie, en 1887 12
» 2. Isoséiste du tremblement de terre de Laibach, en 1895. 13
» 3. Isoséiste du tremblement de terre d'Inverness, en 1880. 14
» 4. Méthode de Seebach. 16
» 5. Méthode de Dutton et de Hayden 19
» 6. Courbes d'oscillations barométriques. 25
» 7. Cendre volcanique 35
» 8. Matériel pour l'étude des fumerolles 55
» 9. » » » 56
» 10. » » » 57
» 11. » » » 57
» 12. Coupe d'un geyser 89
» 13. Coupe d'un suffioni 96
» 14. Maare de l'Eiffel 108
» 15. Coupe d'un volcan islandais (lac d'Aksja) . . . 111
» 16. Profil du Mauna Kea. 114
» 17. Profil du Mauna Lea. 114
» 18. Cône de débris. 114
» 19. Cône à double pente 115
» 20. Cône à double pente avec cône parasite 115
» 21. Cône mixte type de la Nouvelle-Zélande 116
» 22. Dôme d'intumescence. Mont Helsworth 118
» 23. Profil de plissements 131
» 24. Profil d'une chaîne côtière. 133
» 25. Coupe du fond du Pacifique aux îles Tonga. . . 137
» 26. Coupe d'une chaîne de montagnes volcaniques. . 138

Figure 27. Carte des Antilles. 140
» 28. Théorie de M. Stanislas Meunier. 146
» 29. Couronne solaire en 1884 170
» 30. » » » 170
» 31. » » » 171
» 32. » » » 171
» 33. Coupe du Vésuve 182
» 34. Schema des variations de forme du cratère du Vésuve 182
» 35. Plan des coulées du Vésuve 185
» 36. Profil de l'Etna. 186
» 37. Plan de l'Etna et du Val del Bove 186
» 38. Carte géologique de l'archipel Santorin 190
» 39. Carte de Nea Kameni 191
» 40. Carte de Nea Kameni et du Giorgios 193
» 41. Coupe du Kilauea. 214
» 42. Plan du Kilauea 215
» 43. Perspective géologique de l'île Saint-Paul . . . 220
» 44. Plan de l'île Saint-Paul. 221
» 45. Carte de l'île de la Martinique 224
» 46. Carte des zônes dévastées à l'île de la Martinique. 258

Carte de distribution à la surface du globe des volcans, des zônes épicentrales et des zônes affectées par les tremblements de terre.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE V
INTRODUCTION VII

PREMIÈRE PARTIE

LES TREMBLEMENTS DE TERRE

CHAPITRE I. — Séismes, microséismes, séismes artificiels, tremblements de terre, sismographes, sismomètres, nombre et durée des secousses, propagation des secousses, vitesse de propagation de l'onde sismique, action des failles, des chaînes de montagnes, des surfaces de contact, influence de la nature du sol, épicentre, isoséistes, tracé des isoséistes, détermination de l'épicentre, détermination de la profondeur du foyer d'ébranlement, méthodes de Seebach, de Falb, de Dutton et Hayden, superficie de quelques régions épicentrales 1

CHAPITRE II. — Effets produits par les tremblements de terre, crevasses, chûte d'édifices, transport d'objets, flammes, gaz, exhaussement du sol, affaissement du sol, raz de marée, onde de translation marine, vitesse de l'onde de translation, phénomènes magnétiques, oscillations barométriques, étendue de la zône affectée, relation du séisme et de l'orogénie. 21

DEUXIÈME PARTIE

LES ÉRUPTIONS VOLCANIQUES

CHAPITRE I. — Signes précurseurs de l'éruption, séismes, altérations du régime hydrologique, formation du cratère, de fissures, colonne de fumée, projections de débris, de sables, de cendres, de lapillis, de bombes, orages volcaniques, formation du cône volcanique, fumerolles, tufs, cinérites. 28

CHAPITRE II. — Les laves, laves basiques, laves acides, composition, montée de la lave, formation de fissures adventives, plans éruptifs, épanchement de la lave, température des laves, coulées, moraines, cheires, sciarres, grottes, tunnels, orgues, division prismatique des coulées, coulées interrompues, vitesse d'avancement des coulées, refroidissement des coulées, volume de quelques coulées . . . 38

CHAPITRE III. — Etude des dégagements volcaniques gazeux, modes opératoires, matériel d'expériences, position des fumerolles, classification des fumerolles, éléments constitutifs, colonne de fumée, fumerolles sèches, fumerolles acides, fumerolles alcalines, fumerolles froides, composition des gaz de diverses fumerolles, origine des éléments constitutifs, transformation, avancement, rétrogradation des fumerolles, étude de la transformation des fumerolles à l'Etna, conséquences de l'allure des fumerolles, produits de sublimation. 53

CHAPITRE IV. — Solfatares, étude des solfatares de Pouzzoles, d'Agnano, du Vulcano, du Mexique, de Java, du Japon, d'Islande, — Geysers, explication du fonctionnement des geysers, étude et composition des gaz, de l'eau, des dépôts formés par les geysers d'Islande, du Parc National aux États-Unis, de la Nouvelle-Zélande, geysers siliceux, geysers calcaires, soufflards et suffioni, étude des suffioni de Toscane 78

CHAPITRE V. — Salses, étude des salses de Sicile, de Girgenti, de l'Etna, des Apennins, du Caucase, de la Mer Morte, mofettes, étude des mofettes de France, de l'île St-Paul, de la Grotte du Chien, des Etuves de Néron, terrains ardents, fontaines ardentes, étude de quelques fontaines ardentes italiennes 98

CHAPITRE VI. — Cratères de fracture, cratères d'explosion, étude des maares de l'Eiffel et des principaux cratères d'explosion, cratères d'effondrement, étude des cratères d'Hawaï, de la Réunion, de Santorin, cratères particuliers islandais, étude des formes des cratères, cônes volcaniques, cônes de débris, cônes à double courbure, cônes mixtes, cônes parasites, cônes de tufs, cônes de cendres, dimensions de quelques cônes volcaniques, dômes d'intumescence, couronnes. 107

CHAPITRE VII. — Eruptions de boues, déluges de boues . . 120
CHAPITRE VIII. — Eruptions volcaniques sous-marines, volcans sous-marins, fumerolles sous-marines 124

TROISIÈME PARTIE

LES CAUSES DU VOLCANISME

CHAPITRE I. — Histoire de la formation de la croûte terrestre, fluidité du noyau central, refroidissement du globe, exhaussement et affaissement actuels en divers points du globe, théorie des refoulements et des effondrements, formation des plis, des chaines de montagnes, des failles, le degré géothermique, systèmes de coordination pentagonal et tétraédrique, distribution de la tension à l'intérieur, localisation des volcans, les trois zônes volcaniques, la zône du Pacifique, la zône de l'Atlantique, la zône de l'Océan Indien, le nœud des Antilles 127
CHAPITRE II. — Les principales théories explicatives du volcanisme : théorie de M. de Lapparent, de M. Fouqué, de M. Stanislas Meunier, de M. Armand Gautier ; théorie des influences sidérales, de M. Dierckx, de M. F. de Saintignon. Théorie de M. Stubel. . . . . 141 et 299

QUATRIÈME PARTIE

PHÉNOMÈNES DIVERS CONSÉCUTIFS AUX ÉRUPTIONS VOLCANIQUES

CHAPITRE I. — Lueurs crépusculaires, observations de 1831, observations de 1883-1884 consécutives à l'éruption du Krakatoa, couronnes solaires, observations de 1884. . . 165
CHAPITRE II. — Métamorphisme par les coulées volcaniques, enclaves, étude des transformations subies par les enclaves de diverse nature, et des minéraux métamorphiques produits sur chacune d'elles par les laves. 173

CINQUIÈME PARTIE

ÉTUDE DES PRINCIPAUX VOLCANS

CHAPITRE I. — Description des cratères, cônes, fissures, composition des laves et gaz émis par les principaux volcans : Vésuve, Etna, Stromboli, groupe de Santorin, groupe

Islandais, Beerenberg, Erebus, Terror, groupes de l'Amérique du Nord, de l'Amérique Centrale, de l'Amérique du Sud, des Antilles, groupe de la Martinique, des îles de la Sonde, Krakatoa, groupes de la Nouvelle Zélande, du Japon, du Kamschatka, des îles Kouriles, des îles Sandwich, volcans africains continentaux, la Réunion, Saint-Paul, Amsterdam 181

CHAPITRE II. — Le cataclysme de la Martinique en 1902, description de l'île, histoire de l'éruption de la Montagne Pelée, destruction de Saint-Pierre, rapports de la mission officielle française Lacroix, Giraud, Rollet de l'Isle, rapport de la mission officielle anglaise Tempest Anderson et Flett, composition des projections du Mont-Pelé, étude des causes qui provoquèrent la mort des habitants de Saint-Pierre, dernières communications de M. Lacroix, composition des fumerolles du mont Pelé 223

CHAPITRE III. — L'éruption de la Soufrière de l'île Saint-Vincent en 1902, rapport de la mission officielle anglaise Tempest Anderson et Flett. 282

SIXIÈME PARTIE

LE VOLCANISME ET LES RICHESSES DU GLOBE

CHAPITRE I. — Relations entre le volcanisme et la venue au jour de produits industriels, champs de fractures, filons métallifères, sources thermo-minérales, champs pétrolifères. 293

APPENDICE

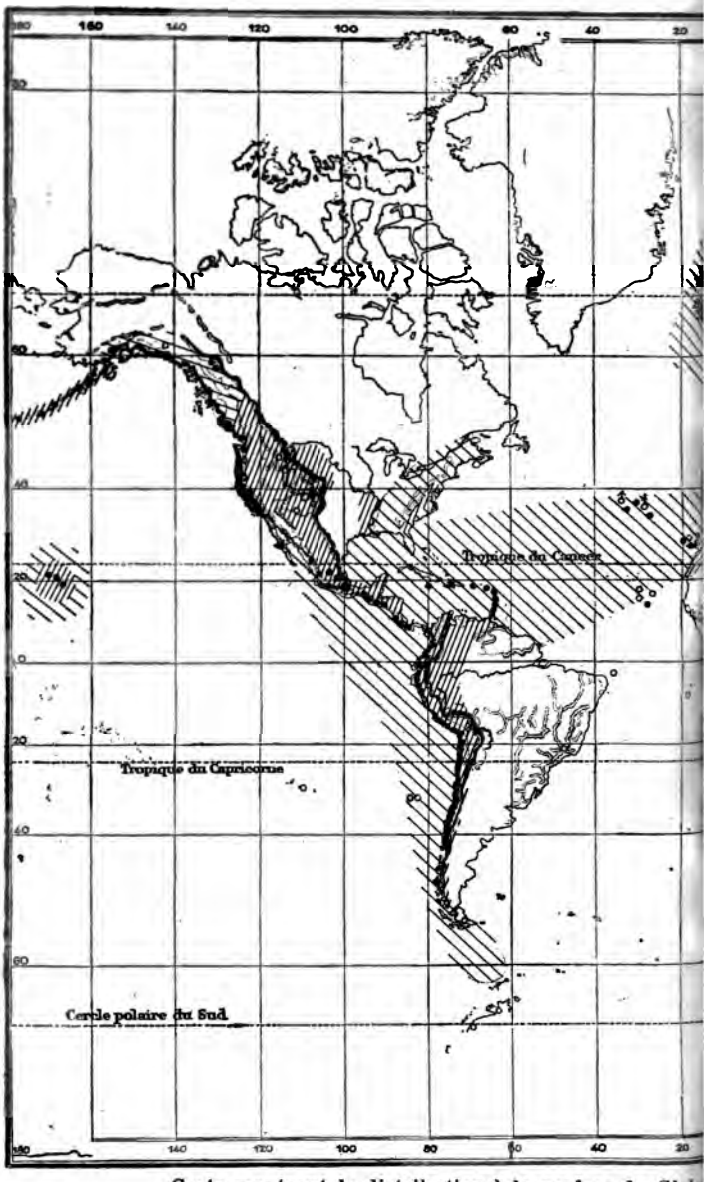
Théorie des phénomènes volcaniques de M. Stubel, essais de corrélation entre les dates des tremblements de terre et des éruptions volcaniques avec les dates du calendrier, cycles volcaniques, tableau des évènements sismiques en 1902, tableau chronologique des principaux cataclysmes sismiques et volcaniques, tableau de répartition des volcans actifs à la surface du globe 299

ERRATUM 314

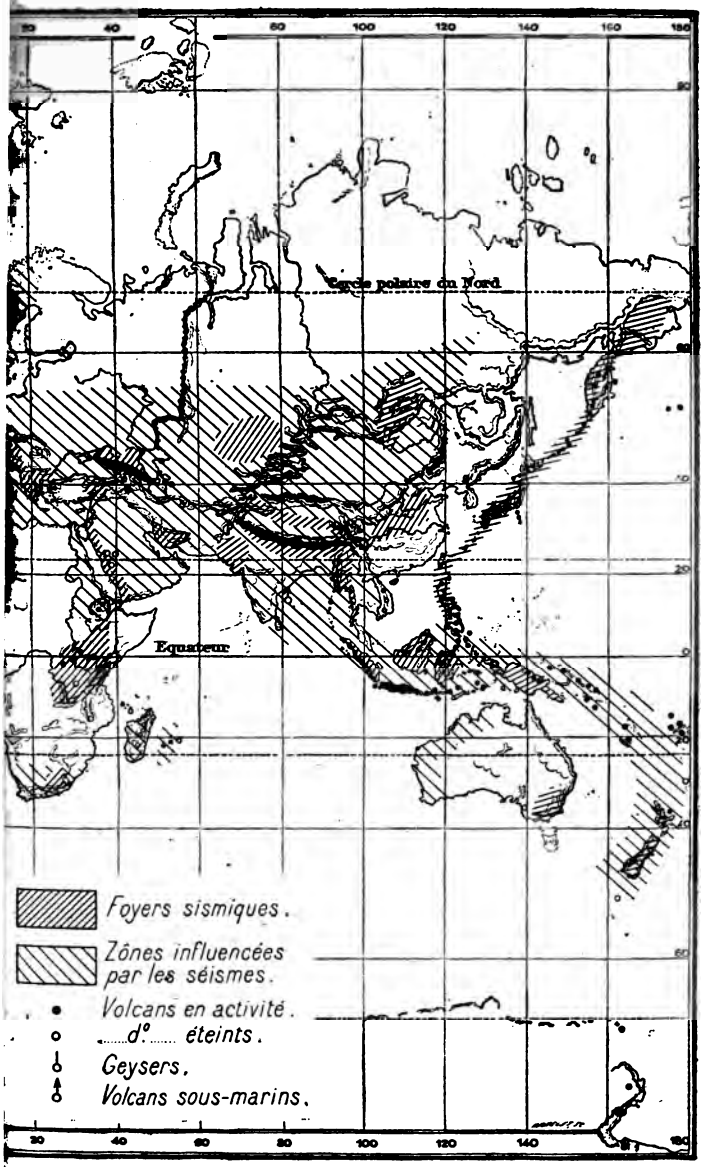
TABLE DES FIGURES 315

TABLE DES MATIÈRES 317

Saint-Amand (Cher). — Imprimerie BUSSIÈRE.



Carte montrant la distribution à la surface du Glob
des Bouches vol



s sismiques, des Zônes influencées par les séismes,
t des Geysers.